



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA



**CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON
INTERVENCIÓN ANTRÓPICA Y EN ESTADO NATURAL EN EL
SECTOR PAMPAS DE MOHO, DISTRITO DE SAN PEDRO DE
PUTINA PUNCO**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. CINTHIA ESTEFANY CHAMBI MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PUNO - PERÚ

2025



CINTHIA ESTEFANY CHAMBI MAMANI

CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON INTERVENCIÓN ANTRÓPICA Y EN ESTADO NATURAL EN EL S...

My Files

My Files

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::8254:521630432

112 páginas

Fecha de entrega

2 nov 2025, 6:24 a.m. GMT-5

20.174 palabras

Fecha de descarga

2 nov 2025, 6:33 a.m. GMT-5

107.127 caracteres

Nombre del archivo

Tesis Final_PGI.pdf

Tamaño del archivo

5.0 MB





13% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 11 palabras)

Fuentes principales

- 12% Fuentes de Internet
- 4% Publicaciones
- 5% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

- Caracteres reemplazados**
47 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



SANDRA SARDON NINA



Dr Manuel D. Callahuanca P.
Sub-Directora de Investigación EPID-FC





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON INTERVENCIÓN
ANTRÓPICA Y EN ESTADO NATURAL EN EL SECTOR PAMPAS DE MOHO,
DISTRITO DE SAN PEDRO DE PUTINA PUNCO

TESIS PRESENTADA POR:

CINTHIA ESTEFANY CHAMBI MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO



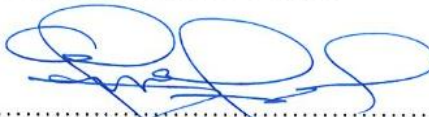
APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE:


.....


Dr. DAWES RAMOS ALATA

PRIMER MIEMBRO:


.....

D.Sc. JUAN CARLOS LUNA QUECAÑO

SEGUNDO MIEMBRO:


.....

M.Sc. EDWIN GUSTAVO CAÑAZACA
CHOQUEHUANCA

ASESOR DE TESIS:


.....

M.Sc. SANDRO SARDÓN NINA

ÁREA: Ciencias Agrarias

TEMA: Manejo y conservación de recursos de agua y suelo

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 21 de octubre 2025



DEDICATORIA

Dedico esta tesis primeramente a Dios, por nunca soltarme de su mano, por guiarme con pasos firme y haberme permitido culminar una etapa más de mi vida.

A mis queridos padres, Arturo Chambi Mamani y Regina Mamani Mamani, quienes, con la fuerza de su amor infinito y sus incontables sacrificios, lograron que esta meta sea realidad. Fueron ustedes quienes me enseñaron el verdadero significado de no rendirme. Cada línea de este trabajo es un testimonio de que, sin su apoyo incansable, yo no estaría aquí hoy.

A mis hermanas Flor Cielo y Sonia, por su amor constante, su paciencia, comprensión, por estar presentes en cada etapa de mi vida. Gracias por ser mi apoyo firme en cada paso que di.

A mis abuelitos Eduardo Chambi, que está en el cielo y a mi mamita Monica, quienes me demostraron su amor y cuidado. Esta tesis es para ustedes, con todo mi corazón.

A mis tios(as) y primos(as) por darme buenos consejos y por su apoyo sincero.

Cinthia Estefany Chambi Mamani



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por guiarme cada día, por dame la fuerza y por brindarme la oportunidad de ser quien soy.

A la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica por su formación profesional.

Expreso mi mayor agradecimiento a mi asesor de tesis, M.Sc. Sandro Sardón Nina, por su valiosa guía y sobre todo por orientación durante todo el procedimiento de este trabajo.

A los miembros del jurado de tesis, compuesto por Dr. Dawes Ramos Alata, D.Sc. Juan Carlos Luna Quecaño, M.Sc. Edwin Gustavo Cañazaca Choquehuanca por todo el apoyo brindado a lo largo de esta investigación.

A mis queridos padres y hermanas por ser el pilar fundamental en mi desarrollo profesional y personal, por su gran paciencia hasta la culminación de mi proyecto y por ser el ejemplo como padres/familia.

Agradezco al Ingeniero David Javier Canque Mamanchura, cuya guía y apoyo fueron fundamentales para la ejecución del proyecto y el éxito del trabajo de campo.

Agradezco a cada uno de mis amigos, compañeros de estudio quienes me brindaron su amistad en este trayecto de mi formación universitaria.

Cinthia Estefany Chambi Mamani



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	19
ABSTRACT.....	20
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. OBJETIVO GENERAL	23
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES	24
2.1.1. Internacional.....	24
2.1.2. Nacional	27
2.1.3. Local.....	29
2.2. MARCO TEÓRICO	31
2.2.1. Suelo.....	31
2.2.2. Propiedades físicas y químicas.....	31
2.2.3. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo.....	32



2.2.4. Suelos con intervención antrópica	33
2.2.5. Suelos naturales.....	33
2.2.6. Suelos umbrisoles.....	33
2.2.7. Suelos cambisoles	34
2.2.8. Suelos regosoles	34

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE ESTUDIO.....	35
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS	37
3.2.1. Materiales.....	37
3.2.2. Equipos.....	37
3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	38
3.4. METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN.....	38
3.4.1. Etapas de investigación	38
3.4.1.1. Etapa de gabinete inicial	38
3.4.1.2. Etapa de campo	39
3.4.1.3. Etapa de laboratorio	39
3.4.1.4. Etapa de gabinete final.....	40
3.4.2. Metodología para la caracterización de suelos.....	40
3.4.2.1. Determinación de la densidad aparente	41
3.4.3. Metodología para la clasificación según el sistema WRB	42
3.4.4. Metodología para la comparación de los parámetros del suelo	42

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN



4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS	43
4.1.1. Suelo San Lorenzo Primero - suelo con intervención antrópica	43
4.1.2. Suelo Esperanza Primero - suelo en estado natural	50
4.1.3. Suelo San Lorenzo Segundo - suelo con intervención antrópica	56
4.1.4. Suelo Esperanza Segundo - suelo en estado natural	63
4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS EVALUADOS SEGÚN EL SISTEMA WRB	71
4.2.1. Clasificación de suelos según el sistema WRB.....	71
4.2.2. Distribución de los suelos Cambisoles y manejo	75
4.2.3. Distribución de los suelos Umbrisoles y manejo	75
4.2.4. Distribución de los suelos Regosoles y manejo	76
4.3. COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SUELOS CON INTERVENCIÓN ANTRÓPICA Y EN ESTADO NATURAL	77
4.3.1. Análisis de varianza y comparación de medias de fósforo disponible en los suelos.....	77
4.3.2. Interpretación del contenido de fósforo disponible en los suelos	78
4.3.3. Análisis de varianza y comparación de medias de materia orgánica	79
4.3.4. Interpretación del contenido de materia orgánica en los suelos.....	80
4.3.5. Análisis de varianza y comparación de medias de la densidad aparente.....	82
4.3.6. Interpretación del contenido de la densidad aparente en los suelos.....	83
V. CONCLUSIONES	87
VI. RECOMENDACIONES	88
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89



ANEXOS..... .93



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Metodología para la caracterización de suelos	41
Tabla 2 Textura y densidad aparente del suelo con intervención antrópica (CAL - 1)	45
Tabla 3 Propiedades químicas y fisicoquímicas de suelo con intervención antrópico (CAL - 1).....	47
Tabla 4 Propiedades de sorción del suelo con intervención antrópica (CAL - 1).....	50
Tabla 5 Textura y densidad aparente del suelo en estado natural (CAL - 2)	51
Tabla 6 Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo en estado natural (CAL - 2)	54
Tabla 7 Propiedades de sorción del suelo en estado natural (CAL - 2)	56
Tabla 8 Textura y densidad aparente del suelo intervención antrópica (CAL - 3)	58
Tabla 9 Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo con intervención antrópica (CAL - 3).....	61
Tabla 10 Propiedades de sorción del suelo con intervención antrópica (CAL - 3).....	63
Tabla 11 Textura y densidad aparente del suelo en estado natural (CAL - 4)	64
Tabla 12 Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo en estado natural (CAL - 4)	66
Tabla 13 Propiedades de sorción del suelo en estado natural (CAL - 4)	68
Tabla 14 Clasificación de suelos según el sistema WRB	71
Tabla 15 Análisis de varianza del fósforo disponible	77
Tabla 16 Comparación de medias de fósforo disponible según los tipos de suelos ...	78
Tabla 17 Análisis de varianza de materia orgánica.....	80



Tabla 18	Comparación de medias de materia orgánica según tipos de suelos.....	80
Tabla 19	Análisis de varianza de la densidad aparente.....	82
Tabla 20	Comparación de medias de la densidad aparente según tipos de suelos.....	83
Tabla 21	Descripción del perfil de suelo de la calicata N°1	93
Tabla 22	Descripción del perfil de suelo de la calicata N°2	96
Tabla 23	Descripción del perfil de suelo calicata N°3.....	98
Tabla 24	Descripción del perfil de suelo de la calicata N°4	100
Tabla 25	Clasificación de los horizontes del suelo en la Sección Alto Centro	103



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Mapa de ubicación del área de estudio.....	36
Figura 2 Gráficos de barras de densidad aparente y arcilla según la profundidad en el suelo (CAL - 1).....	44
Figura 3 Correlación de la densidad aparente con el contenido de arcilla y arena en el suelo (CAL - 1).....	45
Figura 4 Gráficos de barras de materia orgánica y fósforo disponible según la profundidad en el suelo (CAL - 1).....	47
Figura 5 Correlación de la densidad aparente con el contenido de materia orgánica en el suelo (CAL - 1)	48
Figura 6 Gráficos de barras de la CIC y saturación de bases según la profundidad en el suelo (CAL 1)	49
Figura 7 Gráficos de barras de densidad aparente y arcilla según la profundidad en el suelo (CAL 2)	51
Figura 8 Correlación de la densidad aparente con el contenido de arcilla y arena en el suelo (CAL - 2).....	52
Figura 9 Gráficos de barras de materia orgánica y fósforo disponible según la profundidad en el suelo (CAL 2).....	53
Figura 10 Correlación de la densidad aparente con el contenido de materia orgánica en el suelo (CAL - 2).....	55
Figura 11 Gráficos de barras de la CIC y saturación de bases según la profundidad en el suelo (CAL - 2).....	55
Figura 12 Gráficos de barras de densidad aparente y arcilla según la profundidad en el suelo (CAL - 3).....	57



Figura 13	Correlación de la densidad aparente con el contenido de arcilla y arena en el suelo (CAL - 3).....	59
Figura 14	Gráficos de barras de materia orgánica y fósforo disponible según la profundidad en el suelo (CAL - 3).....	60
Figura 15	Correlación de la densidad aparente con el contenido de materia orgánica en el suelo (CAL - 3).....	61
Figura 16	Gráficos de barras de la CIC y saturación de bases según la profundidad en el suelo (CAL - 3).....	62
Figura 17	Gráficos de barras de densidad aparente y arcilla según la profundidad en el suelo (CAL - 4).....	64
Figura 18	Correlación de la densidad aparente con el contenido de limo (CAL - 4) .	65
Figura 19	Gráficos de barras de materia orgánica y fósforo disponible según la profundidad en el suelo (CAL - 4).....	66
Figura 20	Correlación de la densidad aparente con el contenido de materia orgánica (CAL - 4)	67
Figura 21	Gráficos de barras de la CIC y saturación de bases según la profundidad en el suelo (CAL - 4).....	68
Figura 22	Diagrama de Boxplot de fósforo disponible según tipo de suelo	79
Figura 23	Diagrama de Boxplot de materia orgánica según tipo de suelo	81
Figura 24	Diagrama de Boxplot de la densidad aparente según tipo de suelo	84
Figura 25	Paisaje de área de estudio (CAL - 1) suelo con intervención antrópica	95
Figura 26	Perfil de suelo (CAL - 1) suelo con intervención antrópica	95
Figura 27	Paisaje de área de estudio (CAL - 2) suelo en estado natural.....	97
Figura 28	Perfil de suelo (CAL - 2) suelo en estado natural.....	97
Figura 29	Paisaje de área de estudio (CAL - 3) suelo con intervención antrópica	99



Figura 30	Perfil de suelo (CAL - 3) suelo con intervención antrópica	99
Figura 31	Paisaje de área de estudio (CAL - 4) suelo en estado natural.....	102
Figura 32	Perfil de suelo (CAL - 4) suelo en estado natural.....	102
Figura 33	Materiales de campo para la apertura y lectura de las calicatas.	105
Figura 34	Apertura de calicatas	105
Figura 35	Perfil de suelo de San Lorenzo Segundo	106
Figura 36	Lectura colores de los perfiles con la tabla munsell.....	106
Figura 37	Muestro de los horizontes del suelo	107
Figura 38	Muestras de suelo para la caracterización y densidad aparente.....	107
Figura 39	Materiales de laboratorio (A) balanza analítica y (B) estufa.....	108
Figura 40	Muestras iniciales para la determinación de densidad aparente.	108
Figura 41	Proceso de pesado (A) papel y (B) muestra de suelo	109
Figura 42	Muestras colocadas en la estufa durante las 24 horas	109
Figura 43	Muestras después del secado en estufa.....	110
Figura 44	Muestras secas listas para el análisis	110



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1	Descripción de perfil de suelos..... 93
Anexo 2	Clasificación de horizonte / capas de los suelos..... 103
Anexo 3	Mapa de ubicación de calicatas 104
Anexo 4	Panel fotográfico..... 105
Anexo 5	Declaración jurada de autenticidad de tesis..... 111
Anexo 6	Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional.... 112



ACRÓNIMOS

ANOVA:	Análisis de varianza
SLP:	San Lorenzo Primero
EP:	Esperanza Primero
SLS:	San Lorenzo Segundo
ES:	Esperanza Segundo
$Al^{+3} + H^{+}$:	Aluminio
CAL:	Calicata
CIC:	Capacidad de intercambio catiónico
Ca^{+2} :	Calcio
P:	Fósforo
K:	Potasio
M.O.:	Materia orgánica
Nt:	Nitrógeno total
CE:	Conductividad eléctrica
cmol (+).kg ⁻¹ :	Centimoles de carga por kilogramo
CaCO ₃ :	Carbonato de calcio
Mg ⁺² :	Magnesio
Na ⁺ :	Sodio
m:	Metros
cm:	Centímetros
Mg.m ⁻³ :	Megagramos por metro cúbico
mg.kg ⁻¹ :	Miligramos por kilogramo
ds.m ⁻¹ :	Decisiemens por metro
Da:	Densidad aparente



Dis.:	Disponible
WRB:	Base Referencial Mundial del Recurso Suelo
GSR:	Grupos de Suelos de Referencia
UTM:	Universal Transverse Mercator
MDE:	Modelo Digital de Elevación
pH:	Potencial de hidrogeno
SB:	Saturación de bases
GPS:	Sistema de Posicionamiento Global
F.V.:	Fuente de variación
SC:	Suma de cuadrado
gl:	Grados de libertad
C.M.:	Cuadrado medio
Valor F:	Estadística de valor F
p-valor:	Valor de probabilidad
n:	Tamaño de muestra
E.E.:	Error estándar



RESUMEN

El presente estudio evaluó el impacto de la actividad antrópica en las propiedades edáficas de los suelos de la Sección Alto Centro del Sector Pampas de Moho, dada la limitada información disponible en la zona. Los objetivos de la investigación fueron: 1) Caracterizar las propiedades físicas y químicas de suelos con intervención antrópica y en estado natural, 2) Clasificar los suelos evaluados según el sistema WRB y 3) Comparar los parámetros del horizonte superficial para identificar diferencias significativas. La investigación se desarrolló bajo un diseño no experimental, descriptivo y transversal. Se realizó la apertura de cuatro calicatas en sitios representativos, y para el tercer objetivo se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) complementado con la prueba de comparación de medias de Tukey, con un nivel de significancia de $p < 0.05$. Los resultados mostraron que los suelos intervenidos presentaron mayor densidad aparente y un contenido medio de materia orgánica, mientras que los suelos en estado natural registraron menor densidad aparente y un contenido alto de materia orgánica. La textura predominante fue franca y franco arcillosa. En cuanto a la clasificación WRB, los suelos San Lorenzo Primero y Esperanza Primero correspondieron a Cambisoles, el suelo San Lorenzo Segundo a Umbrisol, y el suelo Esperanza Segundo a Regosol. El análisis estadístico reveló diferencias significativas ($p < 0,05$) en el fósforo disponible, la materia orgánica y la densidad aparente. En conclusión, la intervención antrópica afecta negativamente la calidad del suelo, al reducir el contenido de materia orgánica y favorecer la compactación. Estos hallazgos resaltan la importancia de implementar prácticas de manejo sostenible que mitiguen los impactos humanos y contribuyan a la conservación de los suelos en la zona de estudio.

Palabras clave: Caracterizar, Clasificación, Suelos antrópicos, Suelos naturales, WRB.



ABSTRACT

The present study evaluated the impact of anthropogenic activity on the soil properties of the Alto Centro section in the Pampas de Moho sector, given the limited information available for this area. The objectives of the research were: (1) to characterize the physical and chemical properties of soils under anthropogenic influence and in their natural state, (2) to classify the evaluated soils according to the WRB system, and (3) to compare the parameters of the surface horizon to identify significant differences. The research followed a non-experimental, descriptive, and cross-sectional design. Four soil pits were excavated in representative sites, and for the third objective, an analysis of variance (ANOVA) was applied, complemented by Tukey's multiple comparison test, with a significance level of $p < 0.05$. The results showed that the disturbed soils presented higher bulk density and a medium content of organic matter, while the natural soils exhibited lower bulk density and a high content of organic matter. The predominant textures were loam and clay loam. According to the WRB classification, the San Lorenzo Primero and Esperanza Primero soils corresponded to Cambisols, the San Lorenzo Segundo soil to Umbrisol, and the Esperanza Segundo soil to Regosol. The statistical analysis revealed significant differences ($p < 0.05$) in available phosphorus, organic matter, and bulk density. In conclusion, anthropogenic intervention negatively affects soil quality by reducing organic matter content and promoting compaction. These findings highlight the importance of implementing sustainable management practices to mitigate human impacts and contribute to soil conservation in the study area.

Keywords: Characterization, Classification, Anthropic soils, Natural soils, WRB.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El suelo es fundamental para muchas áreas, desde la agricultura hasta la ciencia y según García & Frankenstein (2015), indican que conocer las características y propiedades del suelo es clave para gestionarla de forma adecuada. Esto es especialmente importante para la agricultura, ya que, como señalan Gardi et al. (2014), más del 95% de los alimentos que consumimos provienen del suelo, incluso en sistemas agrícolas muy avanzados. En el Valle de Tambopata, la falta de un análisis detallado del suelo ha causado problemas serios. El suelo se ha usado de forma ineficiente, lo que ha llevado a una menor productividad y a su degradación.

La deforestación es un problema que ha ido creciendo con el tiempo, pero que se ha agravado notablemente en los últimos años, causando una gran pérdida de bosques a nivel mundial. En la Amazonía peruana, esta situación es especialmente visible debido a factores como la agricultura migratoria, la quema de terrenos, la minería ilegal y la tala indiscriminada. Todas estas actividades han generado impactos más graves de lo esperado y ponen en riesgo la sostenibilidad de los bosques, como ha señalado (Noa, 2021).

Peña & Cardona (2010), mencionan en su libro que, en la Amazonia colombiana, los procesos de degradación del suelo están vinculados a la intervención del bosque primario y al cambio en la cobertura vegetal. La susceptibilidad de los suelos a la degradación depende del tipo de cobertura, desde las más diversas hasta las más homogéneas, y del grado de intervención.

A nivel mundial, los sistemas de clasificación del suelo más reconocidos son la Taxonomía de Suelos de Estados Unidos (Soil Taxonomy) y la Base Referencial Mundial



del Recurso Suelo (WRB). La Soil Taxonomy se enfoca en diferenciar los suelos por sus propiedades específicas, como los epipedones y endopedones, y también toma en cuenta los regímenes de temperatura y humedad. Sin embargo, no incluye la formación o génesis de los suelos (Buol et al., 2011). Por otro lado, la WRB, impulsada por la Unión Internacional de Ciencias del Suelo, clasifica los suelos basándose en sus horizontes, materiales y propiedades. A diferencia de la Taxonomía, este sistema sí considera aspectos relacionados con la formación y origen del suelo (IUSS Working Group WRB, 2022).

Además, hay un gran problema: los agricultores de la Sección Alto Centro desconocen sobre las propiedades físicas y químicas de su propio suelo. La falta de estudios previos que clasifiquen la suelo, por ejemplo, usando el sistema WRB, limita mucho su capacidad para manejar y conservar sus cultivos de la mejor manera.

Este trabajo de investigación busca entender las diferencias entre dos tipos de suelo en la Sección Alto Centro del Sector Pampas de Moho, en el distrito de San Pedro de Putina Punco: los que han sido alterados por la actividad humana (agricultura convencional y uso de fertilizantes) y los que se mantienen en su estado natural. Para lograr, se empleó el sistema de clasificación según la WRB. Con la finalidad de determinar si existen diferencias importantes en las propiedades físicas y químicas de ambos suelos. Para eso, tenemos los siguientes objetivos específicos:



1.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar y clasificar los suelos con intervención antrópica y en estado natural de la Sección Alto Centro del Sector Pampas de Moho, Distrito de San Pedro de Putina Punco.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar las propiedades físicas y químicas de los suelos con intervención antrópica y en estado natural en la Sección Alto Centro con el fin de identificar los cambios ocasionados por las actividades humanas.
- Clasificar los suelos evaluados según el sistema WRB con la finalidad de orientar su manejo.
- Comparar los parámetros de suelo en el horizonte superficial para identificar las diferencias entre suelos intervenidos y en estado natural.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Internacional

Aguirre et al. (2018), realizaron una investigación en Santa Marta, Colombia, donde analizaron el impacto del uso del suelo en las propiedades físicas y químicas del suelo. Para su estudio, recolectaron muestras en tres tipos de áreas: suelo natural, zonas agrícolas y áreas verdes. Los resultados mostraron cambios significativos en parámetros clave como el contenido de carbono, nitrógeno, humedad, temperatura, densidad aparente, porosidad y capacidad de intercambio catiónico (CIC). Un análisis de componentes principales reveló diferencias claras según el tipo de uso: las áreas verdes presentaron las concentraciones más altas de carbono, los suelos de bosque destacaron por su mayor porosidad, y las zonas agrícolas registraron los valores más altos de conductividad eléctrica, pH y humedad. Estos hallazgos confirman la influencia directa del uso del suelo en sus características, lo que resalta la importancia de un monitoreo constante para asegurar la sostenibilidad del recurso.

Novillo et al. (2018), en su estudio analizaron el impacto de los monocultivos en la degradación del suelo, comparando las propiedades físicas y químicas de un bosque nativo con las de suelos cultivados con maíz, cacao, pasto y palma aceitera en la Estación Experimental Tropical Pichilingue. Sus hallazgos, validados con la prueba de Tukey, demostraron que los monocultivos de maíz, palma aceitera y pasto incrementaron la densidad aparente, aunque sin alcanzar



un nivel crítico. Además, observaron una mayor concentración de arcilla en la superficie de los suelos cultivados, lo que los hace más vulnerables a la erosión. Los autores concluyeron que el cultivo de palma aceitera fue el que causó mayores alteraciones en la densidad aparente, la conductividad hidráulica y la estabilidad estructural del suelo.

Bojórquez et al. (2006), investigaron la distribución y evolución de los suelos en la llanura costera norte de Nayarit, México. Tras analizar más de cien perfiles clasificados con el sistema WRB, identificaron siete tipos de suelos, cuya formación está relacionada con procesos fluviales y marinos, además de la lixiviación de sales. Los Cambisoles, Fluvisoles y Phaeozems son los que más abundan en las zonas altas y medias, caracterizados por su alta saturación de bases y poca acumulación de sales. En las áreas bajas, donde hay influencia del mar, los Cambisoles evolucionan a Fluvisoles que tienen problemas de salinidad. Los autores concluyeron que estos hallazgos son de gran ayuda para planificar un uso sostenible del suelo en la región.

Świtoniak y Charzyński (2022), señalan que la formación y clasificación de los suelos en el Valle de Busiljá están fuertemente condicionadas por la topografía, la disponibilidad de agua y, en gran medida, por la actividad humana acumulada durante miles de años. A lo largo del tiempo, los pobladores aprovecharon los recursos naturales de la zona como materia prima para la elaboración de cerámica, la construcción y la agricultura, dejando huellas claras en los perfiles de suelo. Un ejemplo de ello se observa en el perfil 1, donde aparecen materiales de origen antrópico, aunque el suelo en sí ha permanecido estable por largos periodos. En cuanto a la distribución, los suelos de las zonas más altas, como las depresiones kársticas, corresponden a Phaeozems,



caracterizados por su alto contenido de materia orgánica. En las laderas se desarrollan Leptosoles, de color rojizo y con textura arcillosa, mientras que en las zonas más bajas y húmedas predominan los Gleysoles, con tonalidades grisáceas y la presencia de cristales de yeso, producto de procesos de oxidación y reducción.

Horák et al. (2023), realizaron un estudio en la región central de Brasil, analizando cuatro perfiles de suelos en áreas conservadas y comparándolas con zonas afectadas por actividades humanas como la agricultura, la construcción de carreteras y la urbanización. Los resultados mostraron que los suelos de las áreas intervenidas presentaron alteraciones significativas en sus propiedades morfológicas, físicas y químicas. En particular, los suelos de las zonas urbanizadas evidenciaron una marcada disminución del carbono orgánico, de hasta un 94%, así como una menor capacidad de retención de agua. Estos hallazgos destacan la vulnerabilidad de los suelos frente a la actividad humana y subrayan la importancia de considerar la intervención antrópica al analizar la fertilidad y conservación de los suelos.

Barahona et al. (2022), las prácticas agrícolas son las actividades humanas que más alteran las características y la calidad del suelo. Para su estudio, evaluaron el efecto de la siembra de tomate industrial en la región de Azuero, Panamá. En cuatro localidades de la provincia de Los Santos, los autores compararon suelos cultivados con tomate por más de diez años con parcelas que no habían sido intervenidas (testigo). Los resultados mostraron que los suelos agrícolas tenían valores significativamente más altos en densidad aparente, conductividad eléctrica y fósforo disponible, además de un pH más ácido. Por otro lado, los suelos del testigo destacaron por su mayor contenido de materia orgánica y una mayor actividad enzimática. Los autores concluyeron que el cultivo continuo de tomate



ha tenido un efecto negativo en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en la región.

2.1.2. Nacional

Muñoz (2024), realizó un estudio en la provincia de Leoncio Prado, en la Amazonía peruana, con el objetivo de caracterizar y clasificar los suelos de la región. El investigador describió seis perfiles de suelo, combinando el análisis morfológico en el campo con pruebas físico-químicas en el laboratorio. Los hallazgos mostraron que la interacción entre el material parental y el relieve fue un factor clave en la formación de los suelos. Los perfiles formados sobre depósitos aluviales antiguos, ubicados en zonas más elevadas, mostraron una mayor evolución. Estos se caracterizaron por una baja saturación de bases, alta acidez y una CIC reducida ($\leq 24 \text{ cmol}(+)\cdot\text{kg}^{-1}$), lo que sugiere una mineralogía dominada por caolinita. En diferencia, los suelos desarrollados sobre aluviones recientes en zonas más bajas presentaron una mayor saturación de bases y valores de pH más elevados, vinculados a un alto contenido de calcio. Asimismo, se encontró una importante acumulación de carbono orgánico en los horizontes superficiales, lo que fue atribuido al constante aporte de materia vegetal. Finalmente, los suelos fueron clasificados como Cambisoles, Umbrisoles y Fluvisoles bajo la WRB.

Vega et al. (2019), investigan como el manejo agronómico y la fertilización intensiva a largo plazo afectan las propiedades del suelo en Pachitea región de Huánuco. Para ello, se analizaron cinco tipos de suelo característicos de la región: un suelo natural utilizado como referencia, terrenos con diferentes años de agricultura tradicional, un suelo sometido a fertilización intensiva por más de



cuatro décadas, otro con abonamiento orgánico prolongado y un suelo de bosque. Las muestras, extraídas a 20 cm de profundidad, fueron sometidas a distintos análisis estadísticos, como análisis de varianza (ANOVA). Los resultados mostraron que el uso agrícola produce cambios significativos en todas las propiedades del suelo a largo plazo, destacando el pH y la materia orgánica como los factores más sensibles. Esto evidencia un proceso de degradación severa del suelo debido a las prácticas agrícolas intensivas.

Rodriguez (2014), realizó un estudio en las parcelas agroforestales de los caseríos Mantaro y Yurimaguas, en la provincia de Leoncio Prado, Huánuco, buscó determinar el almacenamiento de carbono orgánico en suelos de un sistema agroforestal (café y guaba) a diferentes altitudes. Para ello, comparó las propiedades físicas y químicas del suelo en dos unidades, una a 1,142 m.s.n.m. y otra a 662 m.s.n.m. Aunque la prueba estadística de Tukey no mostró una diferencia significativa entre las altitudes, sí se observó un efecto positivo del nivel altitudinal en el contenido de materia orgánica, densidad aparente y carbono orgánico del suelo. Estos parámetros tendieron a ser mayores en la unidad de mayor altitud. Sin embargo, el estudio concluyó que la altitud no influye directamente en el contenido de materia orgánica, la densidad aparente y el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo, lo que sugiere que otros factores pueden ser más determinantes. Adicionalmente, se encontró que la materia orgánica, la densidad aparente y el carbono orgánico disminuyen a medida que aumenta la profundidad en el perfil del suelo, un comportamiento que se repitió en ambas unidades de estudio.



2.1.3. Local

Mamani (2023), realizó un estudio relevante enfocado en la elaboración de monolitos y la clasificación taxonómica de los suelos en diversas estaciones experimentales del INIA-Sede Puno. Sus hallazgos, basados en el sistema WRB, indicaron que las estaciones de Ilpa y Salcedo presentaban suelos Phaeozem y Cambisol, respectivamente. Es de particular interés que, en la estación experimental de San Gabán, ubicada también en la selva puneña, se identificó la presencia de Cambisoles, un tipo de suelo que, según este estudio, es uno de los más prevalentes en la selva de Puno.

Moya (2024), en su investigación realizada en la Estación Experimental Agraria Illpa - INIA Puno, analizó el impacto de la mecanización agrícola y la génesis de los suelos en su degradación. Los objetivos de este estudio incluyeron la caracterización y clasificación de los suelos conforme a la Soil Taxonomy y la WRB, la evaluación de la calidad del suelo a partir de la materia orgánica, y la medición de la compactación según el uso actual del suelo. Los hallazgos de esta investigación revelaron que los suelos fueron clasificados como Phaeozems y Cambisoles según la WRB. Respecto a la calidad de la materia orgánica, esta fue buena en los suelos denominados Peaje y Río, mientras que otros sitios presentaron una calidad media. En cuanto a la compactación, los terrenos con praderas naturales mostraron niveles elevados, lo cual podría limitar el desarrollo radicular. Por el contrario, los suelos dedicados a la agricultura y los que se encontraban en barbecho exhibieron una compactación de nivel medio a bajo.

Canque (2025), en su investigación realizada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno, se reconocieron cuatro grupos de



suelos de según la clasificación WRB: Anthrosoles, en el patio central de la EPIA y el jardín universitario; Technosoles, en FIGIM, el parque central y el patio de la FMVZ, asociados a la presencia de materiales artificiales; Cambisoles, en la parte baja del bosque universitario; y Regosoles, en la parte alta del mismo bosque. Este estudio evidencia la relevancia de caracterizar y clasificar los suelos urbanos para comprender su dinámica y manejo.

Sardon (2023), en su trabajo de investigación evaluó diferentes métodos para determinar la disponibilidad de fósforo en los suelos, reconociendo que la gestión eficiente de los cultivos depende de una detección precisa de los nutrientes. Específicamente, para el caso del Centro Experimental de Tambopata, ubicado en la selva puneña de la provincia de Sandia, el suelo fue clasificado como un Inceptisol (Typic Dystrudepts) según la Taxonomía de Suelos, originado a partir de depósitos coluviales en una pendiente empinada. A pesar de ser ultra ácido con un pH de 3.7, el horizonte superficial presenta una fertilidad natural media debido a su alto contenido de materia orgánica (21.13%) y un elevado nivel de fósforo disponible (55.8 ppm). La investigación concluyó que el método Bray II fue el más adecuado para la extracción de fósforo en este suelo, confirmando la importancia de usar metodologías específicas según el tipo de suelo.

Pari (2024), en su investigación en la microcuenca del sector de Yurajmayo, donde el propósito general del presente estudio fue clasificar y mejorar los suelos ácidos mediante la implementación de enmiendas calcáreas. En el Distrito de San Juan del Oro de la Región Puno. En donde en su primer ensayo tenía como objetivo clasificar los suelos de la microcuenca del sector de Yurajmayo según la Soil Taxonomy, donde los seis suelos se clasificaron en el orden Inceptisol.



2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Suelo

Según Ramírez (1997), indica que el suelo es una colección de cuerpos naturales; donde está compuesto por el material orgánico y mineral que cubre la mayoría de la superficie terrestre; a la vez contiene materia viva y esta sirve de soporte para la vegetación en campo abierto y en lugares transformados por la actividad humana.

Gardi et al. (2014), en su libro indican que el suelo es el resultado de procesos físicos, químicos y biológicos que transforman la roca madre, determinando su estructura y propiedades. Está compuesto por elementos minerales y orgánicos que interactúan de manera dinámica en el espacio y el tiempo. La edafología estudia su composición y relación con las plantas y el ambiente, mientras que la pedología se centra en su formación, clasificación y morfología.

Por su parte, Sardón et al. (2021), destacan que el suelo es un cuerpo natural cuya formación depende de la interacción de cinco factores principales: clima, organismos, relieve, material parental y tiempo. La acción combinada de estos factores origina procesos pedogenéticos que condicionan la morfología del suelo y sus propiedades físicas, químicas y biológicas, explicando la diversidad y complejidad de los suelos en distintos ecosistemas.

2.2.2. Propiedades físicas y químicas

Las propiedades físicas del suelo, como la textura, la estructura, la densidad aparente y la capacidad de retención de agua, tienen un impacto directo



en el desarrollo radicular y en la disponibilidad hídrica para las plantas (Estupiñán et al., 2009). Es decir que una textura equilibrada favorece tanto el drenaje como la retención de humedad, mientras que suelos excesivamente arenosos o compactados pueden dificultar el crecimiento vegetal.

En cuanto a las propiedades químicas, parámetros como el pH, el contenido de materia orgánica, los niveles de nitrógeno, fósforo, potasio y la CIC determinan la fertilidad y productividad del suelo (García & Frankenstein, 2015). Vega et al. (2019), señalan que el uso excesivo de fertilizantes químicos puede modificar estas propiedades, reduciendo su calidad a largo plazo. Por su parte, Sardón et al. (2021) destacan que la materia orgánica, especialmente el carbono presente en las fracciones húmicas, es esencial para mantener la salud edáfica.

2.2.3. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo

El sistema de clasificación de suelos conocido como Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB) es una herramienta ampliamente utilizada para identificar tipos de suelos y elaborar mapas edafológicos (IUSS Working Group WRB, 2014). Según este sistema, se considera suelo todo el material que se encuentra hasta dos metros de profundidad bajo la superficie terrestre y que mantiene contacto directo con la atmósfera (IUSS Working Group WRB, 2022).

La WRB organiza los suelos en dos niveles de detalle. En el primero se establecen los 32 Grupos de Suelos de Referencia (GSR), que constituyen la base principal de la clasificación. El segundo nivel permite describir los suelos con mayor precisión, combinando el nombre del GSR con calificadores principales y suplementarios que detallan sus características específicas (IUSS Working Group WRB, 2014).



2.2.4. Suelos con intervención antrópica

Un suelo antrópico ha sido alterado por el ser humano a través de actividades como la agricultura intensiva, el uso de agroquímicos, el sobrepastoreo y la deforestación. Estos cambios pueden causar compactación, pérdida de nutrientes, acidificación y erosión (Peña & Cardona, 2010).

Los suelos intervenidos por la agricultura, que es una de las principales fuentes de ingresos económicos, han sufrido un desequilibrio ecológico debido a la intervención humana. Esta degradación hace cada vez más difícil el desarrollo de los cultivos y la obtención de buenas cosechas (Perez, 2013).

2.2.5. Suelos naturales

Un suelo natural es aquel que no ha sido modificado por actividades humanas y mantiene sus características originales, como su estructura, biodiversidad y contenido de materia orgánica (Aguirre et al., 2018). Estos suelos suelen presentar mejor porosidad, estabilidad y fertilidad natural.

2.2.6. Suelos umbrisoles

Los umbrisoles son suelos que se caracterizan por una importante acumulación de materia orgánica en su capa superficial, lo que les da un color oscuro. Se forman en ambientes húmedos y fríos, como en regiones montañosas. Su rasgo distintivo es el horizonte úmbrico, una capa superficial rica en materia orgánica y con baja saturación de bases (IUSS Working Group WRB, 2014).



2.2.7. Suelos cambisoles

Los cambisoles son suelos en una etapa temprana de formación. Su nombre, que significa "cambiar", refleja su proceso evolutivo, en el que adquieren gradualmente una estructura más definida, un color pardo y un mayor contenido de arcilla. Se forman a partir de una meteorización leve o moderada, sin una acumulación significativa de arcilla, materia orgánica o compuestos de hierro y aluminio (IUSS Working Group WRB, 2014).

2.2.8. Suelos regosoles

Los regosoles son suelos muy jóvenes con un desarrollo mínimo. Su nombre hace alusión a su formación a partir de materiales no consolidados o sueltos, como los depósitos coluviales. Estos suelos se caracterizan por la ausencia de horizontes de diagnóstico bien definidos, y su evolución es muy lenta. Se encuentran comúnmente en paisajes erosionados y en terrenos montañosos (IUSS Working Group WRB, 2014).



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE ESTUDIO

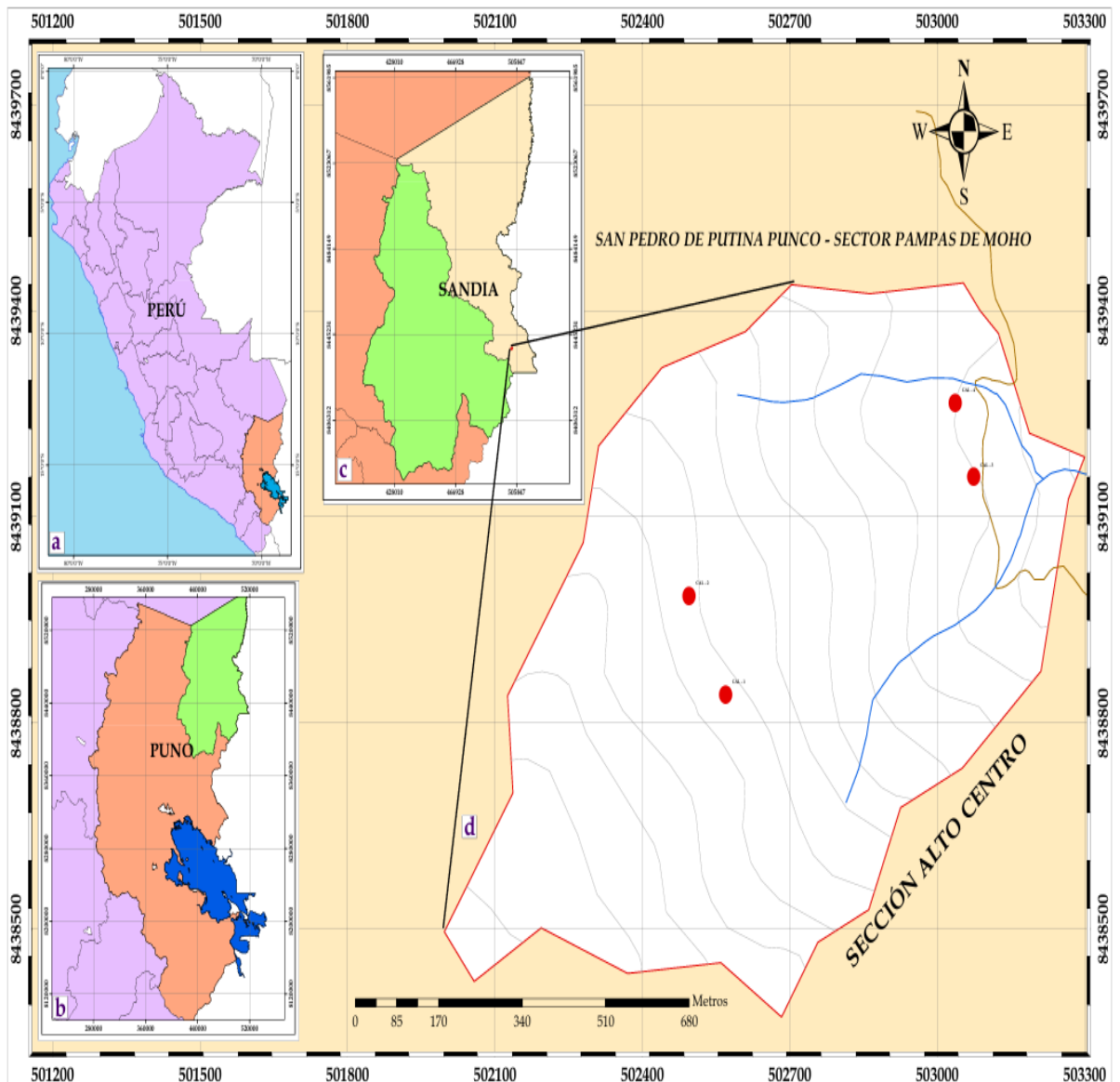
El presente estudio se llevó a cabo en la Sección Alto Centro, Sector Pampas de Moho, ubicado en el distrito de San Pedro de Putina Punco, provincia de Sandía, departamento de Puno. Esta área abarca una extensión de 85.40 ha, la zona se caracteriza por su clima húmedo, topografía accidentada y representa una importante transición ecológica entre áreas con cultivos (intervenidas) y zonas con vegetación natural. Para la toma de muestras, se excavaron cuatro calicatas distribuidas en dos tipos de cobertura de suelo (estado natural e intervención antrópica) y en dos diferentes altitudes. La descripción y ubicación de cada calicata es la siguiente (Figura 1):

- **San Lorenzo Primero (CAL - 1)**
 - Condición: Terreno con intervención antrópica
 - Altitud: 1620 msnm
 - Coordenadas UTM: Este 502569.3 - Norte 8438841.9
- **Esperanza Primero (CAL- 2)**
 - Condición: Terreno en estado natural
 - Altitud: 1620 msnm
 - Coordenadas UTM: Este 502495.12 - Norte 8438986.25
- **San Lorenzo Segundo (CAL - 3)**
 - Condición: Terreno con intervención antrópica
 - Altitud: 1340 msnm
 - Coordenadas UTM: Este 503074.12 - Norte 8439157.95

- **Esperanza Segundo (CAL - 4)**
 - Condición: Terreno en estado natural
 - Altitud: 1340 msnm
 - Coordenadas UTM: Este 503037 - Norte 8439266

Figura 1

Mapa de ubicación del área de estudio



Nota: a) mapa del Perú, b) mapa del departamento de Puno, c) mapa de la provincia de Sandia y d) mapa de la zona del proyecto



3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. Materiales

- Fichas para el registro de los perfiles de suelo
- Libreta de campo
- Tabla munsell
- Bolsas de ziploc de 1 kilo
- Picota de geólogo
- Cuchillo para suelos
- Cilindros para densidad aparente
- Pala
- Barreta
- Machete
- Pico
- Envases descartables
- Plumón acrílico
- Lapiceros
- Cinta métrica

3.2.2. Equipos

- Laptop
- GPS (Sistema de Posicionamiento Global)
- Cámara digital
- Balanza analítica
- Estufa



3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

En la investigación, para el primer y segundo objetivo se llevó a cabo con un enfoque de investigación no experimental, utilizando un diseño descriptivo y transversal. Este tipo de investigación se caracteriza por observar y analizar fenómenos tal como ocurren en su entorno natural, sin la manipulación de variables por parte del investigador y observándose situaciones ya existentes. El diseño transversal implicó que los datos fueron recolectados en un único momento (Hernández et al., 2014).

En cuanto al tercer objetivo, se empleó un análisis de varianza (ANOVA) seguido de la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia de $p < 0.05$, a fin de identificar las diferencias entre suelos con intervención antrópica y en estado natural.

3.4. METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN

3.4.1. Etapas de investigación

3.4.1.1. Etapa de gabinete inicial

En esta etapa se enfocó principalmente en la recopilación y procesamiento de la información existente, relacionada con la caracterización y clasificación de suelos con intervención antrópica y en estado natural. Para ello, se elaboraron mapas de ubicación y delimitación de la zona de estudio mediante el Software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) obteniendo el Modelo Digital de Elevación para generar las curvas de nivel, lo que permitió analizar el terreno y definir las zonas de acceso más conveniente para el trabajo de campo.



Con la información obtenida, se planificó la distribución de los perfiles y altitudes en áreas representativas, lo que facilitó la organización del trabajo de campo y garantizó que los puntos de muestreo fueran representativos del área estudiada.

3.4.1.2. Etapa de campo

En esta etapa se llevó a cabo el mapeo del área de estudio mediante la apertura de cuatro calicatas, con dimensiones de 1.20 m de ancho, 1.50 m de largo y 1.30 m de profundidad. Posteriormente, se procedió a describir las características físicas y morfológicas de los perfiles de suelo, considerando aspectos como color, textura, estructura, consistencia, límites de horizontes y rasgos particulares.

Una vez concluida con la descripción de los perfiles, se procedió a recolectar muestras de cada horizonte de manera vertical comenzando desde las capas más profundas hacia la superficie, con el fin de evitar la contaminación del suelo. Cada muestra tuvo un volumen aproximado de 1 kg, después fue almacenada en bolsas Ziploc, debidamente rotuladas con su código correspondiente. Posteriormente, fueron llevadas al laboratorio para la determinación de sus propiedades físicas y químicas. Asimismo, se procedió a tomar muestras con el cilindro metálico para el cálculo de la densidad aparente.

3.4.1.3. Etapa de laboratorio

En esta etapa, las muestras recolectadas en campo fueron enviadas al Laboratorio de Suelos, Aguas y Foliar del Instituto Nacional de



Innovación Agraria (INIA), ubicado en Salcedo, donde realizaron los análisis correspondientes para la caracterización del suelo.

Se evaluaron parámetros como la textura y las propiedades químicas y fisicoquímicas (pH, conductividad eléctrica, carbonatos, materia orgánica, fósforo y potasio disponibles, capacidad de intercambio catiónico y cationes cambiables: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , $\text{Al}^{3+} + \text{H}^+$).

Por otra parte, la determinación de la densidad aparente se realizó de manera independiente en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNA Puno, empleando el método del cilindro de volumen conocido.

3.4.1.4. Etapa de gabinete final

En esta última etapa, se procesaron y analizaron todos los datos obtenidos en las fases de campo y laboratorio. Se organizaron los resultados de la caracterización, clasificación de los perfiles de suelo y se procedió al análisis estadístico.

3.4.2. Metodología para la caracterización de suelos

Para determinar las propiedades físicas y químicas de los suelos, se recolectaron muestras representativas de cada horizonte de las 4 calicatas. A excepción de la densidad aparente, que fue realizada en la Facultad de Ciencias Agrarias - UNA Puno, el resto de las muestras fueron enviadas al laboratorio del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) para su respectivo análisis, siguiendo los métodos que se detallan en la (Tabla 1):

Tabla 1*Metodología para la caracterización de suelos*

ENSAYO	MÉTODO
pH	Medida en el Potenciómetro de suspensión Suelo - Agua 1:1
Conductividad	Lectura del extracto acuoso en la relación Suelo - Agua 1:1
Textura	Método del Hidrómetro de Bouyoucos
Materia Orgánica	Método de Walkley y Black
Nitrógeno	Método de Micro Kjeldahl
Fósforo disponible	Método de Olsen Modificado, Extractor NaHCO ₃ 0.5M
Potasio disponible	Saturación con Acetato de Amonio 1N pH 7.0. Lectura en espectrofotómetro
Aluminio intercambiable	Método de Yuan. Extracción con Cloruro de Potasio 1N
Carbonato de calcio	Método de neutralización acida
Capacidad de Intercambio Catiónico	Método del Acetato de Amonio 1N, pH 7.0
Cationes Cambiables	Determinaciones en el extracto de amonio Ca: Método del E.D.T.A Mg: Método del amarillo de tiazol K: Fotómetro de llama Na: Fotómetro de llama

Fuente: Adaptado del trabajo de investigación realizada por (Mamani, 2023).

3.4.2.1. Determinación de la Densidad Aparente

La densidad aparente se calculó mediante el método del cilindro de volumen conocido. Se usaron cilindros metálicos de 5 cm de altura y 5 cm de diámetro, introducidos verticalmente en cada horizonte.

En el laboratorio de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNA Puno, las muestras fueron secadas en estufa a 105 °C durante 24 horas, hasta alcanzar un peso constante. Posteriormente, el suelo seco se pesó en una balanza analítica. Finalmente, para determinar la D_a se utilizó el método del cilindro, cuya fórmula es:

$$D_a = \frac{M_s}{V_t}$$



Donde:

Da: Densidad aparente (g/cm^3)

Ms: Masa de suelo seco (g)

Vt: Volumen total del cilindro de muestreo (cm^3)

3.4.3. Metodología para la clasificación según el sistema WRB

Para la clasificación de los suelos, se utilizó la WRB, siguiendo las reglas generales del sistema establecidas por (IUSS Working Group WRB, 2022) siguiendo las tres fases:

- Primera fase: se identificaron los horizontes, propiedades y materiales de diagnóstico de cada perfil de suelo, basándose en los datos obtenidos en campo y laboratorio.
- Segunda fase: se asignó al suelo un Grupo de Suelo de Referencia.
- Tercera fase: consistió en la aplicación de los calificadores, los cuales se dividen en principales y suplementarios. Los calificadores principales tienen una jerarquía y se organizan según su importancia, mientras que los suplementarios carecen de jerarquía y se ordenan alfabéticamente para facilitar su uso.

3.4.4. Metodología para la comparación de los parámetros del suelo

La comparación de suelos intervenidos y naturales se efectuó en el horizonte superficial, considerando fósforo disponible, densidad aparente y materia orgánica como variables indicadoras. Los datos fueron procesados en el software InfoStat 2022, aplicando ANOVA y prueba de Tukey para determinar diferencias estadísticas.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS SUELOS

4.1.1. Suelo San Lorenzo Primero - suelo con intervención antrópica

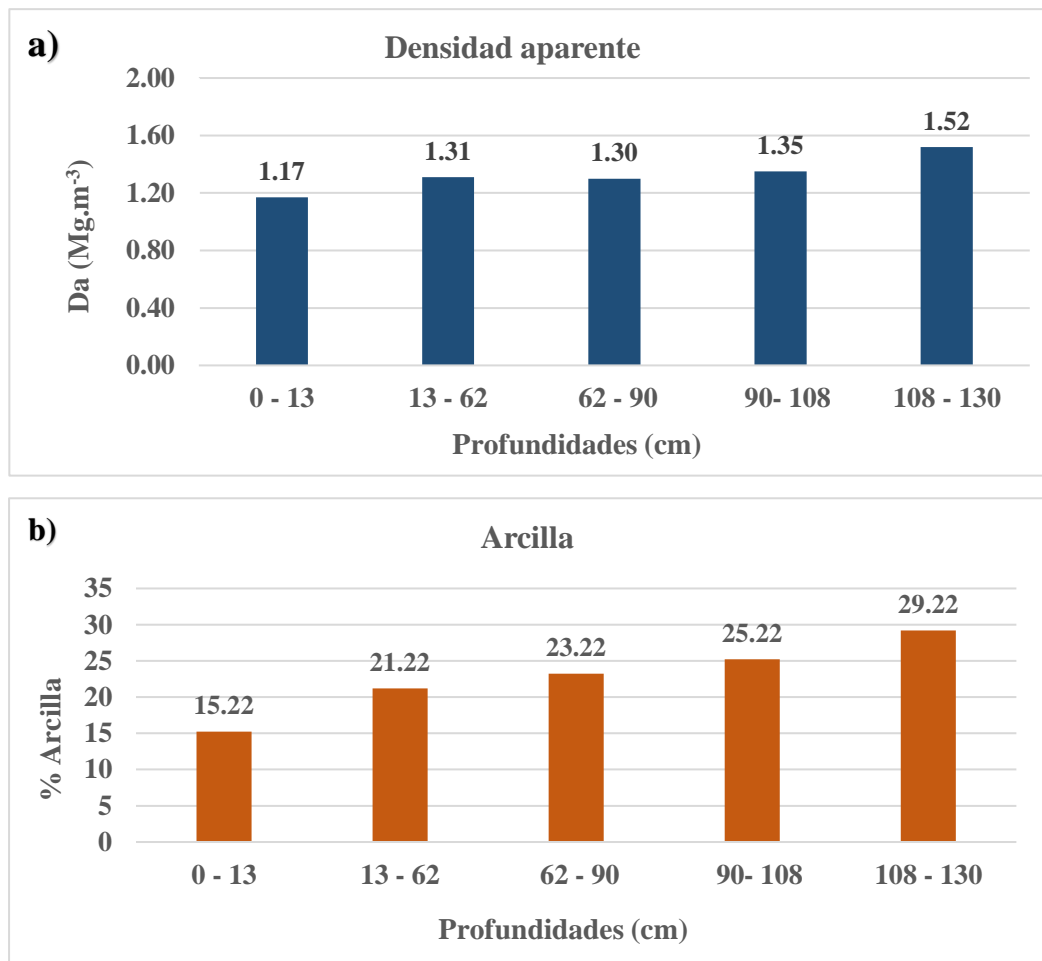
El suelo de San Lorenzo Primero CAL - 1 (Tabla 2), ubicado en la Sección Alto Centro a una altitud de 1620 m.s.n.m., corresponde a un área que ha sido intervenida para el uso del cultivo de Coca. Este suelo se formó a partir de un material parental coluvial y se localiza en una ladera de montaña con una pendiente que varía entre 25 - 50 %, siendo clasificado como empinado. Presenta cinco horizontes, correspondientes al perfil Ap/AB/Bw1/Bw2/BC, alcanzando una profundidad de 1.30 m. La clase textural dominante en el perfil de suelo es de tipo Franco (Fr.) hasta los 108 cm de profundidad, mientras que en el último horizonte se observa un cambio hacia Franco Arcilloso (Fr.Ar.) entre 108 y 130 cm de profundidad. Por otro lado, los colores de los suelos están entre pardo fuerte, pardo amarillento, rojo amarillento y amarillo pardusco.

En cuanto a la densidad aparente, el horizonte Ap presenta un valor de 1.17 Mg.m⁻³. Los horizontes intermedios, AB, Bw1 y Bw2, registran valores ligeramente más altos, de 1.31, 1.30 y 1.35 Mg.m⁻³ respectivamente. Finalmente, el horizonte más profundo BC, exhibe la densidad aparente más elevada, con 1.52 Mg.m⁻³. Esta tendencia de incremento de la densidad aparente con la profundidad es notable, lo que puede influir en la resistencia a la penetración de raíces y en la

dinámica del drenaje interno del suelo, donde también se observa el aumento del contenido de arcilla en los horizontes profundos (Figura 2a y b2).

Figura 2

Gráficos de barras de densidad aparente y arcilla según la profundidad en el suelo (CAL - 1)



Nota: donde la Figura 2a) densidad aparente por profundidad y Figura 2b) arcilla por profundidad.

Tabla 2

Textura y densidad aparente del suelo con intervención antrópica (CAL - 1)

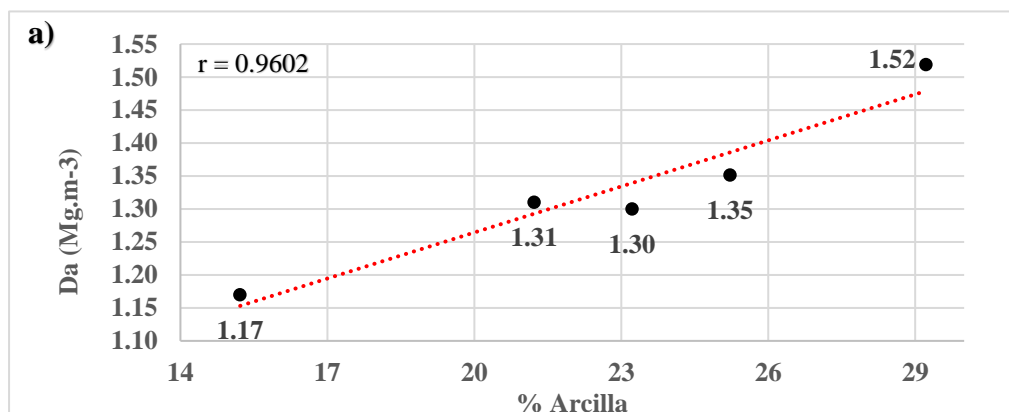
Horizonte	Profundidad (cm)	% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA)				Clase textural	Da Mg.m ⁻³
		Gravas > 2.0	Arena 2.0 - 0.05	Limo 0.05 - 0.002	Arcilla < 0.002		
Ap	0 - 13	-	39.06	45.72	15.22	Fr.	1.17
AB	13 - 62	2	35.06	43.72	21.22	Fr.	1.31
Bw1	62 - 90	2	31.06	45.72	23.22	Fr.	1.30
Bw2	90- 108	-	31.06	43.72	25.22	Fr.	1.35
BC	108 - 130	-	25.06	45.72	29.22	Fr. Ar.	1.52

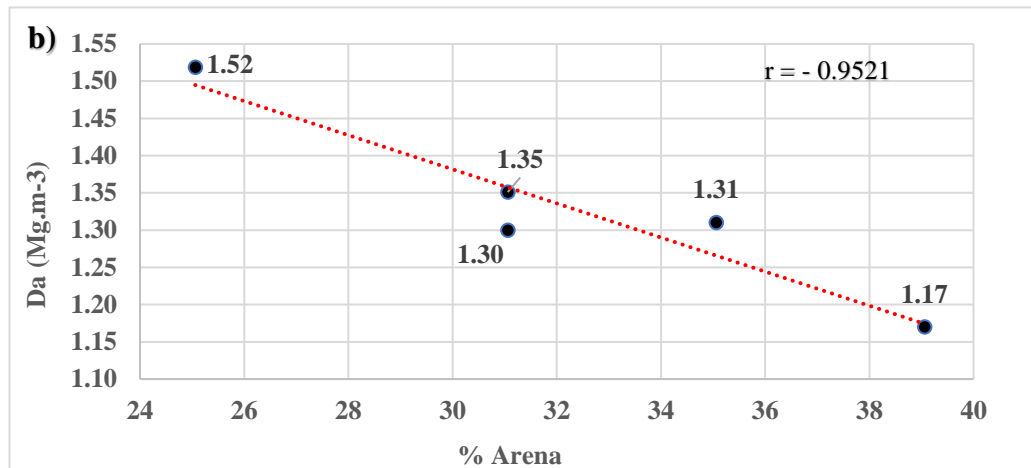
Nota: donde Da corresponde a la densidad aparente expresada en Mg·m⁻³.

En la (Figura 3a), se muestra la correlación entre la densidad aparente (Mg.m⁻³) y contenido de arcilla (%), indicando que tiene una tendencia positiva y con una $r = 0.9602$ el cual nos indica que, si existe una correlación muy alta entre las variables, es decir a medida que aumenta el porcentaje de arcilla también se incrementa la densidad aparente. Por otro lado, en la (Figura 3b), se muestra la correlación entre la Da y contenido de arena (%), indicando que tiene una correlación negativa muy alta y con $r = -0.9521$, es decir que, al aumentar el porcentaje de arena, la densidad aparente tiende a disminuir.

Figura 3

Correlación de la densidad aparente con el contenido de arcilla y arena en el suelo (CAL - 1)



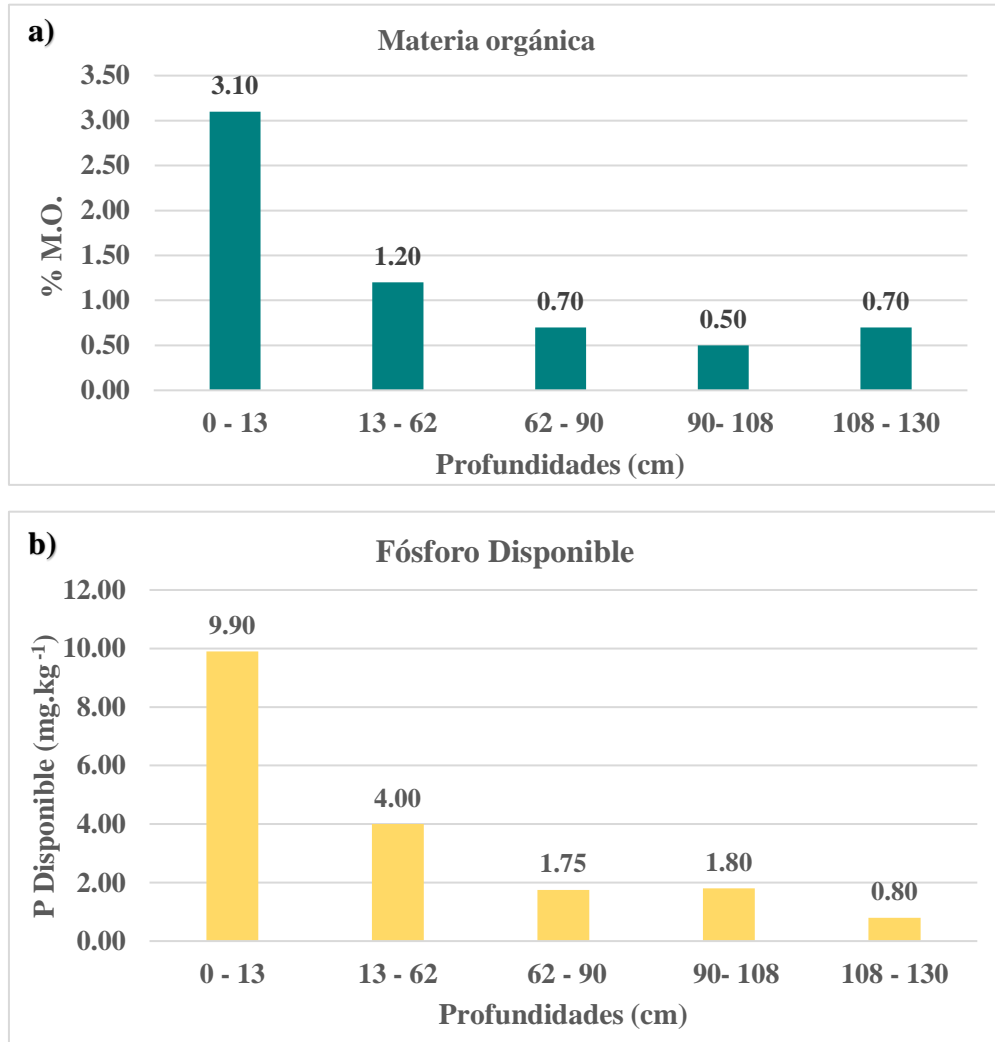


Nota: La Figura 3a muestra la correlación entre la densidad aparente y porcentaje de arcilla, mientras que la Figura 3b presenta la correlación entre la densidad aparente y porcentaje de arena.

Las propiedades químicas y fisicoquímicas (Tabla 3), revelan que tiene un pH muy fuertemente ácido en todos los horizontes. Además, se observan los niveles bajos de conductividad eléctrica (CE), lo que indica la ausencia de carbonatos de calcio (CaCO_3). En cuanto al primer horizonte (Ap), resalta por su nivel medio de porcentaje de materia orgánica (M.O.) con un 3.10 %. Respecto a los nutrientes disponibles en este primer horizonte (Ap), el potasio (K) disponible presenta un nivel medio ($117.30 \text{ mg.kg}^{-1}$) y el contenido de fósforo (P) disponible también se encuentra en un nivel medio (9.90 mg.kg^{-1}). Por lo tanto y considerando la intervención antrópica, se clasifica la fertilidad de este suelo como media (Figura 4a y 4b).

Figura 4

Gráficos de barras de materia orgánica y fósforo disponible según la profundidad en el suelo (CAL 1)



Nota: donde a) Materia orgánica (M.O.) y b) fósforo disponible por profundidad de suelo.

Tabla 3

Propiedades químicas y fisicoquímicas de suelo con intervención antrópico (CAL - 1)

Horizonte	Profundidad (cm)	pH (1:1)	CE (ds.m ⁻¹)	CaCO ₃ (%)	M.O. (%)	Nt (%)	K Dis (mg.kg ⁻¹)	P Dis
Ap	0 - 13	4.70	0.03	0.00	3.10	0.18	117.30	9.90
AB	13 - 62	4.80	0.02	0.00	1.20	0.04	78.20	4.00

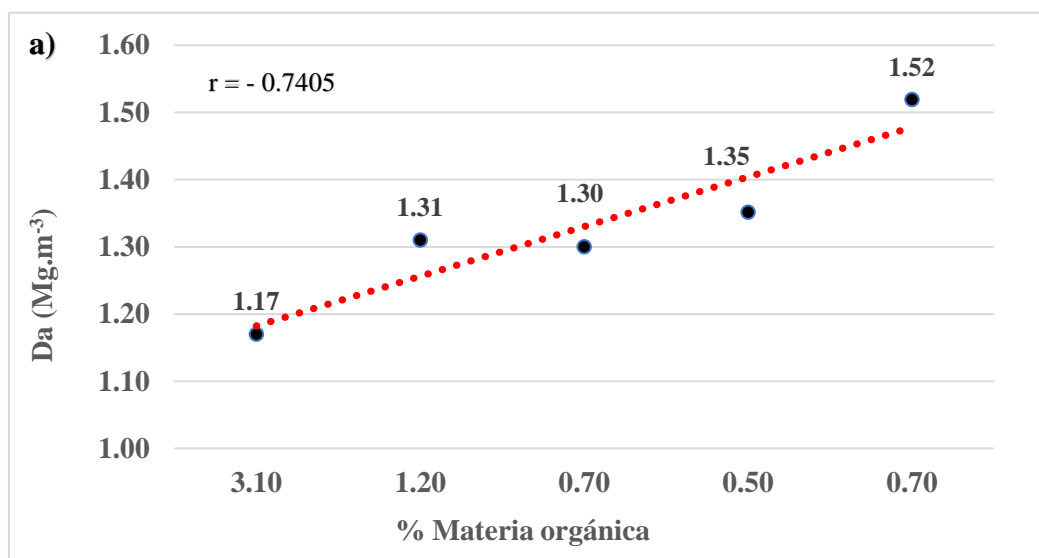
Bw1	62 – 90	4.70	0.02	0.00	0.70	0.03	78.20	1.75
Bw2	90- 108	4.50	0.02	0.00	0.50	0.02	117.30	1.80
BC	108 – 130	4.50	0.02	0.00	0.70	0.03	78.20	0.80

Nota: en caso del Nt = Nitrógeno total se entiende que su nivel es medio y el termino Dis = a la Disponibilidad de potasio y fósforo.

En la (Figura 5a), se muestra la correlación entre la Densidad aparente y el contenido de materia orgánica (%), indicando que tiene una correlación negativa alta y con $r = -0.7405$, es decir a mayor contenido de materia orgánica, la densidad aparente del suelo es menor; en cambio, cuando el contenido de materia orgánica disminuye tiende por incrementar la Da.

Figura 5

Correlación de la densidad aparente con el contenido de materia orgánica en el suelo (CAL - I)



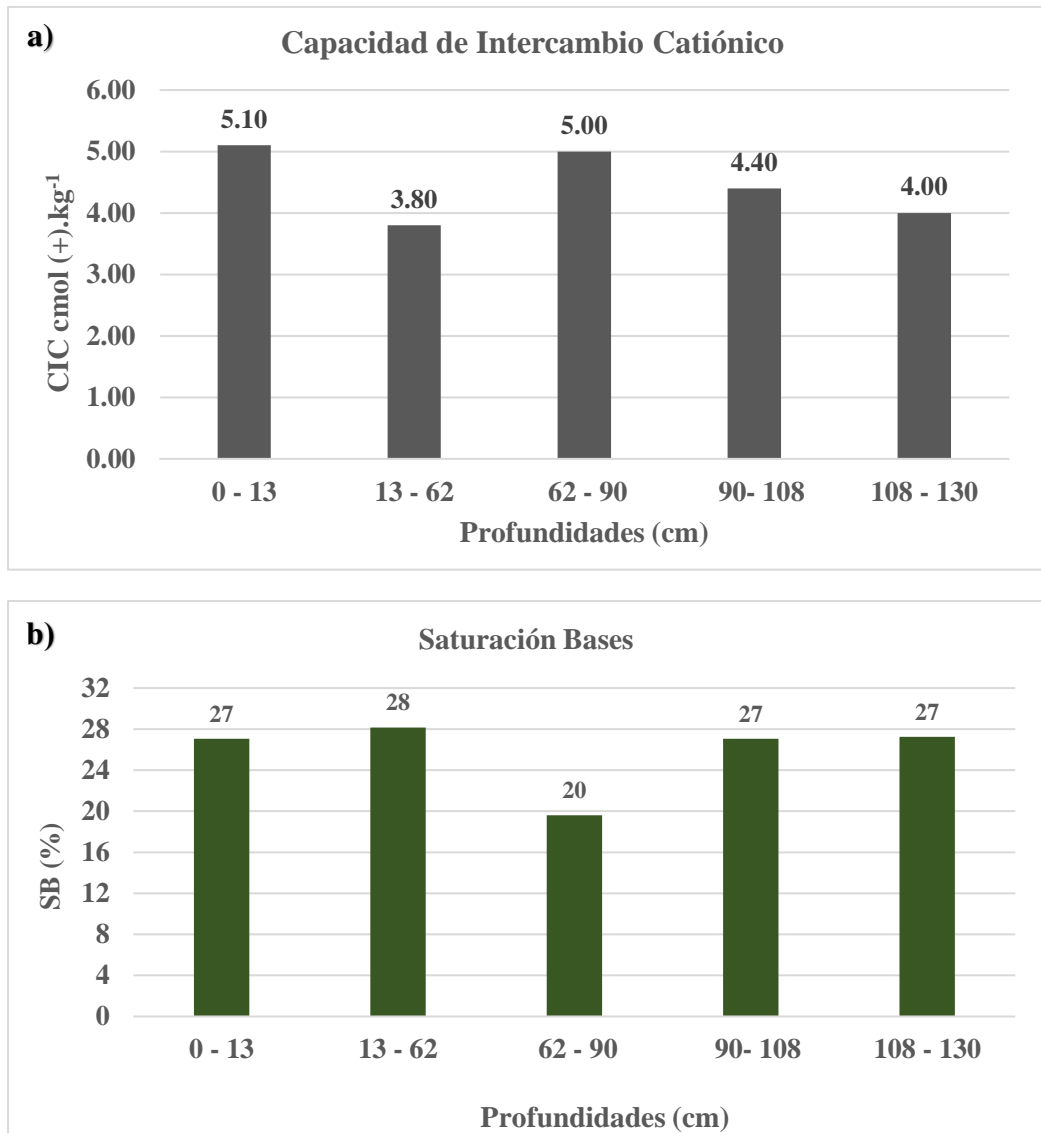
Nota: En la Figura 5a se presenta la correlación entre la densidad aparente y el contenido de materia orgánica, evidenciando una relación negativa alta.

Las propiedades de sorción del suelo (Tabla 4), revelan que en el primer horizonte (Ap), la capacidad de intercambio catiónico es de un nivel muy baja, registrando un rango de 5.10 cmol (+).kg⁻¹. Asimismo, la saturación de bases en

este mismo horizonte (Ap) muestra también un nivel bajo, con un 27% (Figura 6a y 6b).

Figura 6

Gráficos de barras de la CIC y saturación de bases según la profundidad en el suelo (CAL - I)



Nota: La capacidad de intercambio catiónico (CIC) disminuye conforme aumenta la profundidad, mientras que la saturación de bases (SB) se mantiene relativamente constante a lo largo del perfil.

Tabla 4*Propiedades de sorción del suelo con intervención antrópica (CAL - 1)*

Horizonte	Profundidad (cm)	CIC	Cationes cambiables					SB (%)
			Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺³ +H ⁺	
Ap	0 - 13	5.10	0.70	0.30	0.08	0.30	2.90	27
AB	13 - 62	3.80	0.60	0.20	0.07	0.20	1.50	28
Bw1	62 - 90	5.00	0.50	0.20	0.08	0.20	2.20	20
Bw2	90 - 108	4.40	0.60	0.20	0.09	0.30	2.40	27
BC	108 - 130	4.00	0.60	0.20	0.09	0.20	1.50	27

Nota: donde la (CIC) es Capacidad de intercambio catiónico y (SB) es Saturación de base

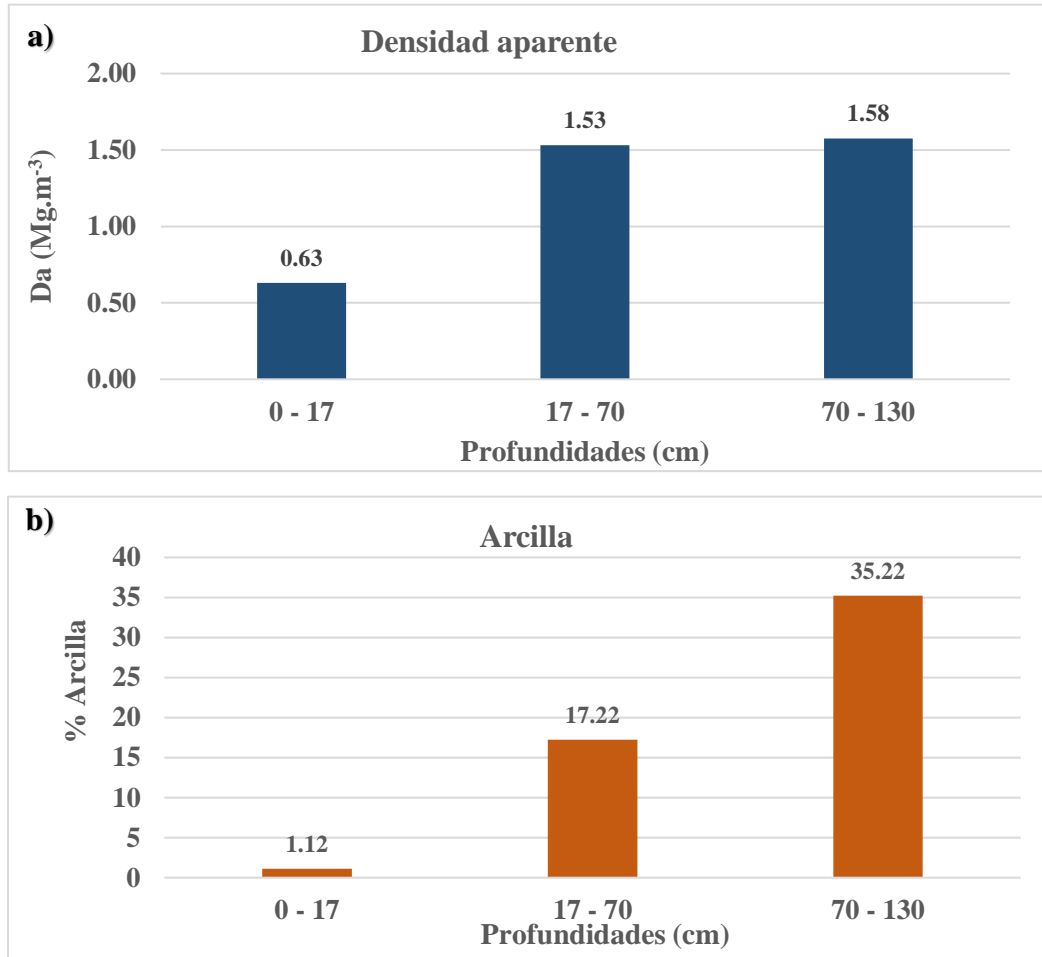
4.1.2. Suelo Esperanza Primero - suelo en estado natural

El suelo Esperanza Primero CAL - 2 (Tabla 5), ubicado en la Sección Alto Centro a una altitud de 1620 m.s.n.m., corresponde a un área de bosque húmedo caracterizado por la presencia de plantas como Cedro, Sangre de grado y Bambú. Este suelo se formó a partir de un material parental coluvial y se localiza en una ladera de montaña con una pendiente que varía entre 25 - 50 %, siendo clasificado como empinado. Presenta tres horizontes, correspondientes al perfil A/Bw1/Bw2, alcanzando una profundidad de 1.30 m. La textura del suelo es Franco Arcilloso hasta los 12 cm, Franco entre los 17 a 70 cm, y Franco Arcilloso de los 70 a 130 cm. Por otro lado, los colores de los suelos están entre pardo muy oscuro, amarillento pardusco y rojo.

La densidad aparente del horizonte A es baja (0.63 Mg.m^{-3}), indicando una buena porosidad, mientras que los horizontes Bw1 y Bw2 presentan valores más altos (1.53 y 1.58 Mg.m^{-3} respectivamente), lo cual podría influir en la resistencia a la penetración de raíces y en el drenaje interno del suelo donde también se observa el aumento del contenido de arcilla en los horizontes profundos (Figura 7a y 7b).

Figura 7

Gráficos de barras de densidad aparente y arcilla según la profundidad en el suelo (CAL - 2)



Nota: donde a) densidad aparente por profundidad, b) arcilla por profundidad.

Tabla 5

Textura y densidad aparente del suelo en estado natural (CAL - 2)

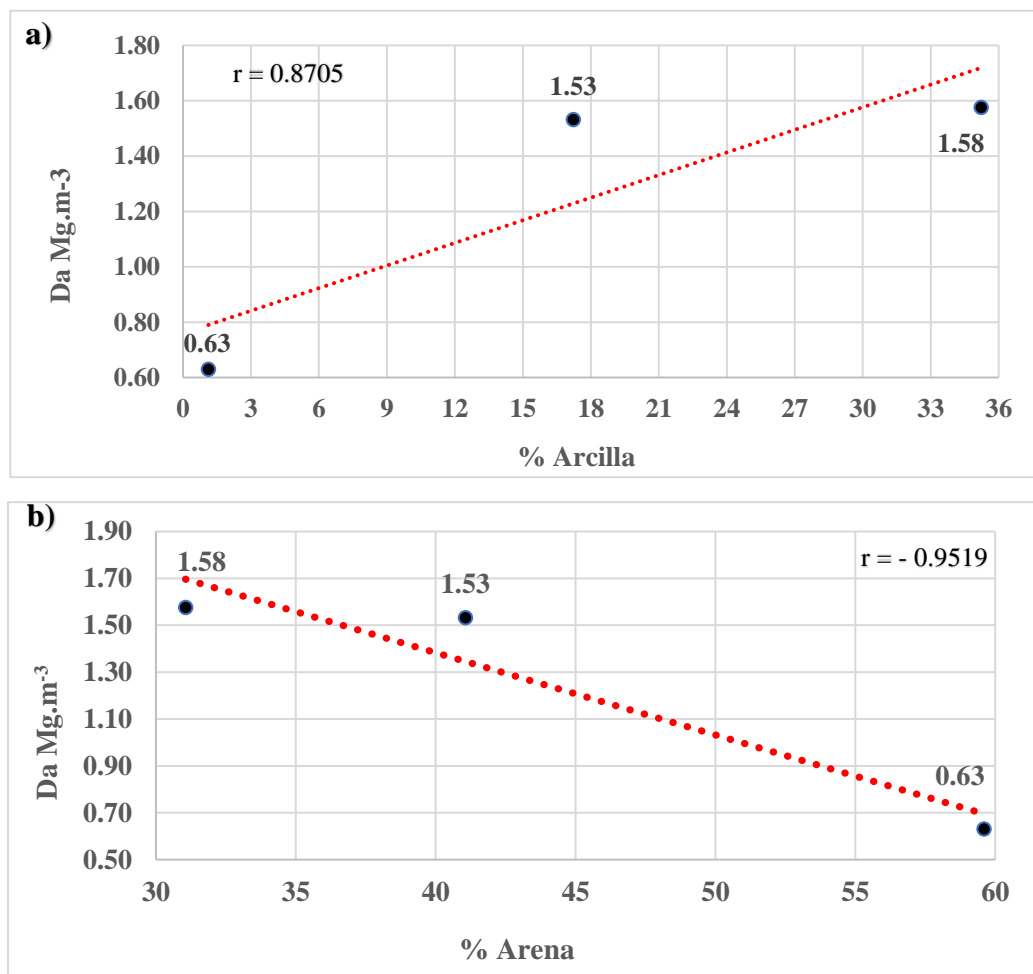
Horizonte	Profundidad (cm)	% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA)				Clase textural	Da Mg.m ⁻³
		Gravas > 2.0	Arena 2.0 - 0.05	Limo 0.05 - 0.002	Arcilla < 0.002		
A	0 - 17	3	59.6	39.28	1.12	Fr. A.	0.63
Bw1	17 - 70	20	41.06	41.78	17.22	Fr.	1.53
Bw2	70 - 130	45	31.06	33.72	35.22	Fr. Ar.	1.58

Nota: donde Da corresponde a la densidad aparente expresada en Mg·m⁻³.

En la (Figura 8a), se muestra la correlación entre la densidad aparente (Mg.m^{-3}) y contenido de arcilla (%), indicando que tiene una tendencia positiva y con una $r = 0.8705$ el cual nos indica que, existe una correlación muy alta entre las variables, es decir a medida que aumenta el porcentaje de arcilla también se incrementa la densidad aparente. Por otro lado, en la (Figura 8b), se muestra la correlación entre la Da y contenido de arena (%), indicando que tiene una correlación negativa muy alta y con $r = -0.9519$, es decir que, al aumentar el porcentaje de arena, la densidad aparente tiende a disminuir.

Figura 8

Correlación de la densidad aparente con el contenido de arcilla y arena en el suelo (CAL - 2)

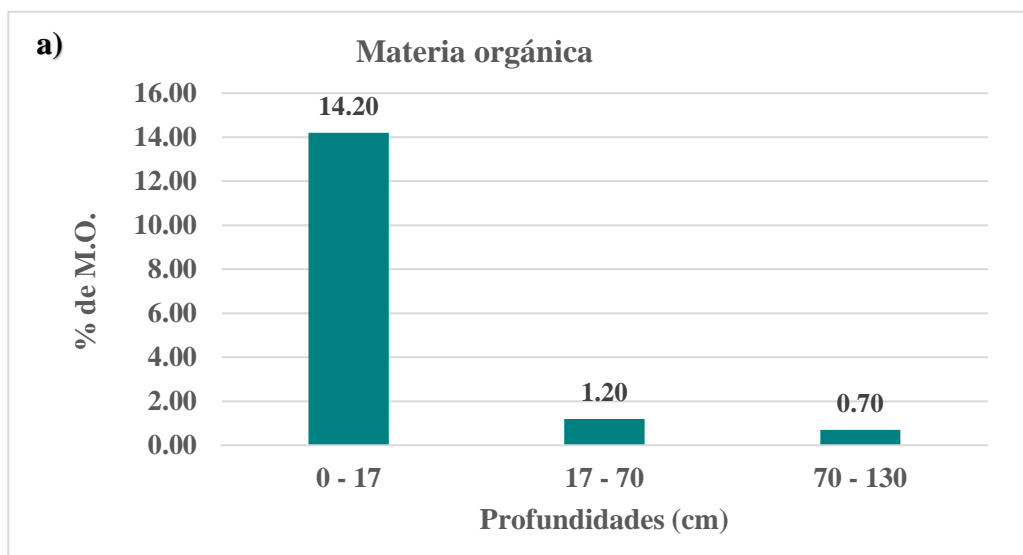


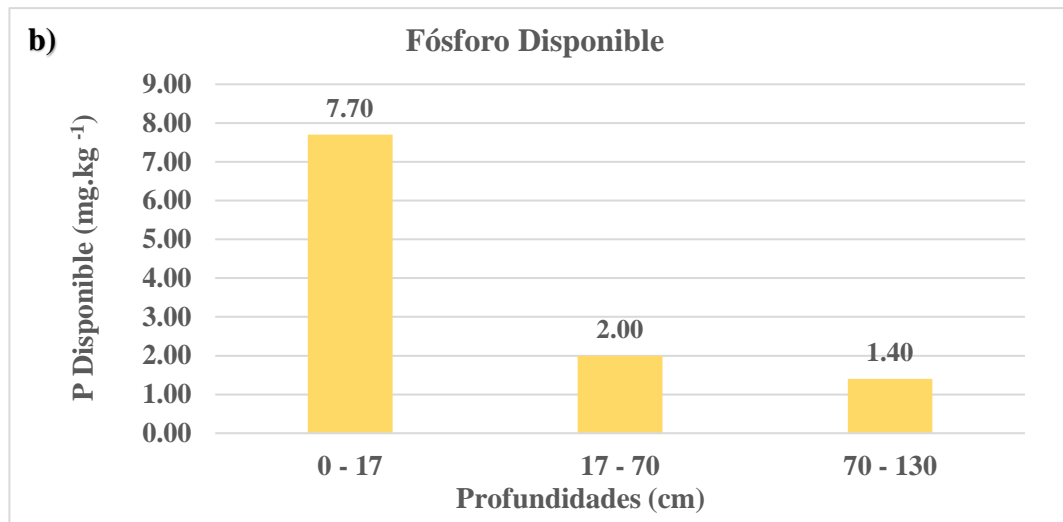
Nota: La Figura 8a muestra la correlación entre la densidad aparente y porcentaje de arcilla, mientras que la Figura 8b presenta la correlación entre la densidad aparente y porcentaje de arena.

Las propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo (Tabla 6), revelan que tiene un pH muy fuertemente ácido en todos los horizontes. Además, se observan los niveles bajos de conductividad eléctrica, lo que indica la ausencia de carbonatos de calcio. En cuanto al primer horizonte (A), resalta por su alto porcentaje de materia orgánica con un 14.20 %. Respecto a los nutrientes disponibles en este primer horizonte (A), el potasio disponible presenta un nivel medio ($156.40 \text{ mg.kg}^{-1}$) y el contenido de fósforo disponible también se encuentra en un nivel medio (7.70 mg.kg^{-1}). Por lo tanto, se considera que la fertilidad de este suelo se clasifica como media (Figura 9a y 9b).

Figura 9

Gráficos de barras de materia orgánica y fósforo disponible según la profundidad en el suelo (CAL - 2)





Nota: donde a) Materia orgánica (M.O.) y b) fósforo disponible por profundidad de suelo.

Tabla 6

Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo en estado natural (CAL - 2)

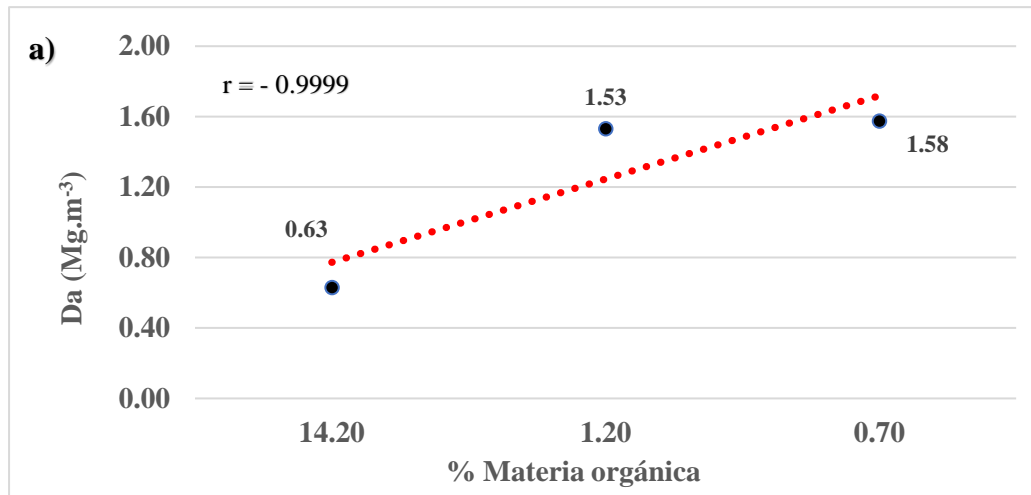
Horizonte	Profundidad (cm)	pH (1:1)	CE (ds.m ⁻¹)	CaCO ₃ (%)	M.O. (%)	Nt (%)	K Dis	P Dis
							(mg.kg ⁻¹)	
A	0 - 17	4.50	0.13	0.00	14.20	0.62	156.40	7.70
Bw1	17 - 70	4.90	0.03	0.00	1.20	0.04	117.30	2.00
Bw2	70 - 130	4.90	0.01	0.00	0.70	0.03	117.30	1.40

Nota: En caso del Nt = Nitrógeno total se entiende que su nivel es alto y el termino Dis = a la Disponibilidad de potasio y fósforo.

En la (Figura 10a), se muestra la correlación entre la Densidad aparente y el contenido de materia orgánica (%), indicando que tiene una correlación negativa muy alta y con $r = -0.9999$, es decir a mayor contenido de materia orgánica, la densidad aparente del suelo es menor; en cambio, cuando el contenido de materia orgánica disminuye tiende por incrementar la Da.

Figura 10

Correlación de la densidad aparente con el contenido de materia orgánica en el suelo (CAL - 2)

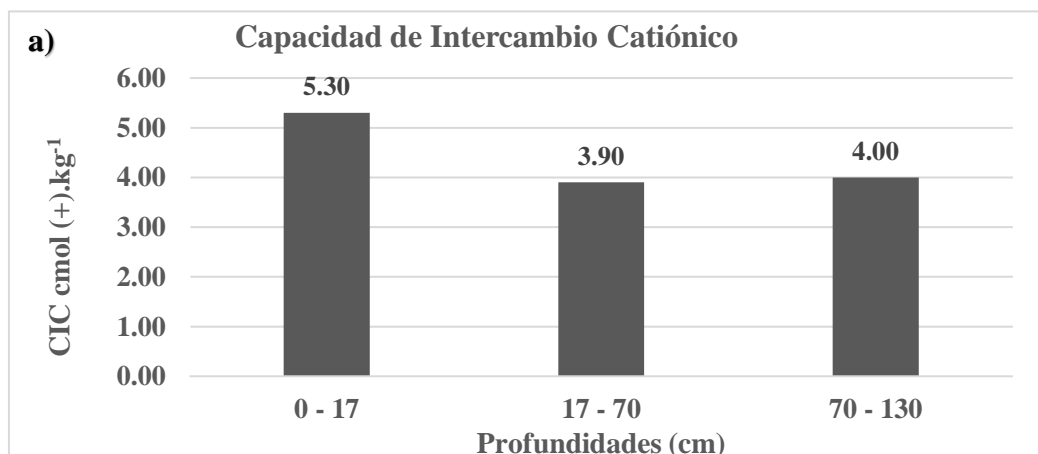


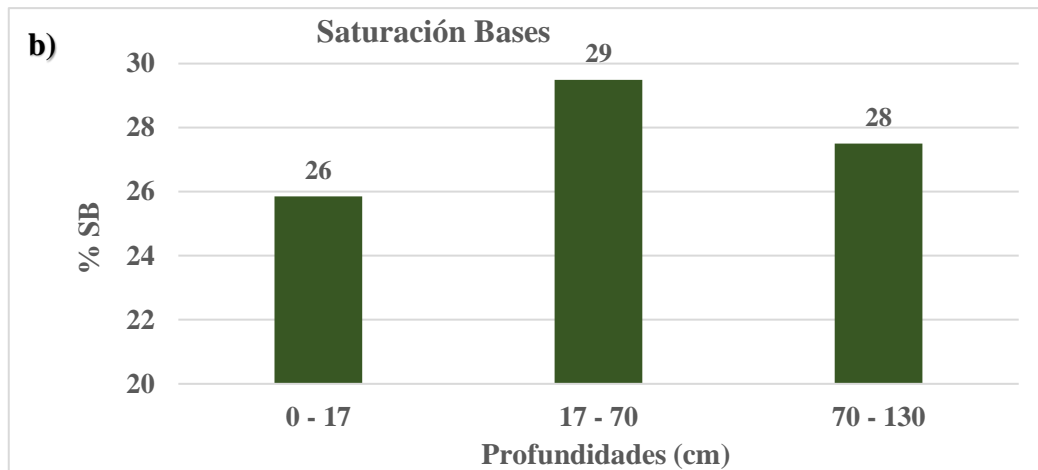
Nota: En la Figura 10a se presenta la correlación entre la densidad aparente y el contenido de materia orgánica, evidenciando una relación negativa muy alta.

Las propiedades de sorción del suelo (Tabla 7), revelan que en el primer horizonte (A), la capacidad de intercambio catiónico es de un nivel muy baja, registrando un rango de 5.30 cmol (+).kg⁻¹. Asimismo, la saturación de bases en este mismo horizonte (A) también un es baja, con un 26% (Figura 11a y 11b).

Figura 11

Gráficos de barras de la CIC y saturación de bases según la profundidad en el suelo (CAL - 2)





Nota: La capacidad de intercambio catiónico (CIC) disminuye conforme aumenta la profundidad, mientras que la saturación de bases (SB) se mantiene relativamente constante a lo largo del perfil.

Tabla 7

Propiedades de sorción del suelo en estado natural (CAL - 2)

Horizonte	Profundidad (cm)	CIC	Cationes cambiabiles					SB (%)
			Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺³ +H ⁺	
			cmol (+).kg ⁻¹					
A	0 - 17	5.30	0.60	0.30	0.07	0.40	3.10	26
Bw1	17 - 70	3.90	0.60	0.20	0.05	0.30	1.30	29
Bw2	70 - 130	4.00	0.50	0.20	0.10	0.30	2.20	28

Nota: donde (CIC) es la Capacidad de intercambio catiónico y (SB) es Saturación de base

4.1.3. Suelo San Lorenzo Segundo - suelo con intervención antrópica

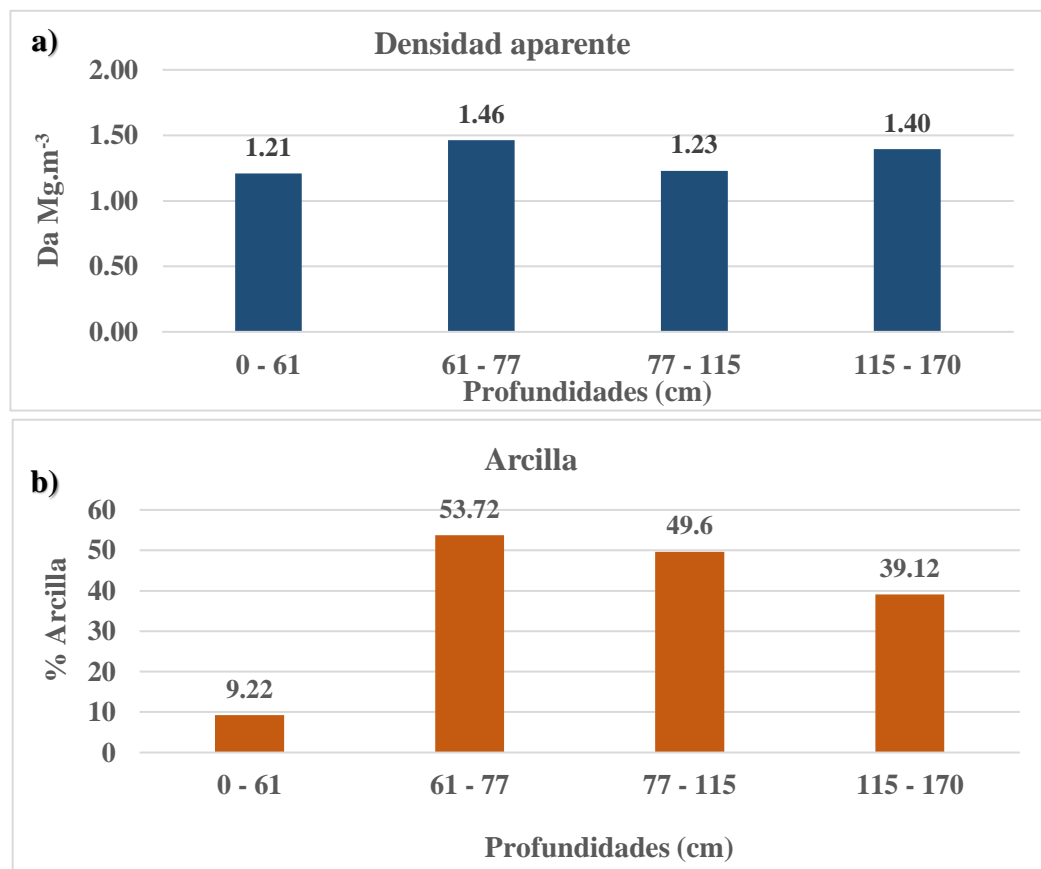
El suelo de San Lorenzo Segundo CAL - 3 (Tabla 8), ubicado en la Sección Alto Centro a una altitud de 1340 m.s.n.m., corresponde a un área que ha sido intervenida para el uso del cultivo de Café y Palto. Este suelo se formó a partir de un material parental residual y se localiza en una ladera de montaña con una pendiente que varía entre 15 - 25 %, siendo clasificado como moderadamente empinado. Presenta cuatro horizontes, correspondientes al perfil Ap/Bw1/Bw2/Bw3, alcanzando una profundidad de 1.70 m. La textura del suelo es franco limoso entre los 0 a 12 cm, arcilloso entre los 77 a 115 cm, y franco

arcilloso de los 115 a 170 cm. Por otro lado, los colores de los suelos están entre pardo muy oscuro, pardo grisáceo, amarillo pardusco y rojo amarillento.

En cuanto a la densidad aparente, el horizonte Ap presenta un valor de 1.21 Mg.m^{-3} , sugiriendo una buena porosidad en la capa superficial. Sin embargo, en el horizonte Bw1, la densidad aparente aumenta significativamente a 1.46 Mg.m^{-3} . Esta inestabilidad en la densidad aparente a lo largo del perfil puede influir de manera importante en la resistencia a la penetración de raíces y en la dinámica del drenaje interno del suelo, donde también se observa el aumento del contenido de arcilla en los horizontes profundos (Figura 12a y 12b)

Figura 12

Gráficos de barras de densidad aparente y arcilla según la profundidad en el suelo (CAL - 3)



Nota: donde a) densidad aparente por profundidad, b) arcilla por profundidad.

Tabla 8*Textura y densidad aparente del suelo intervención antrópica (CAL - 3)*

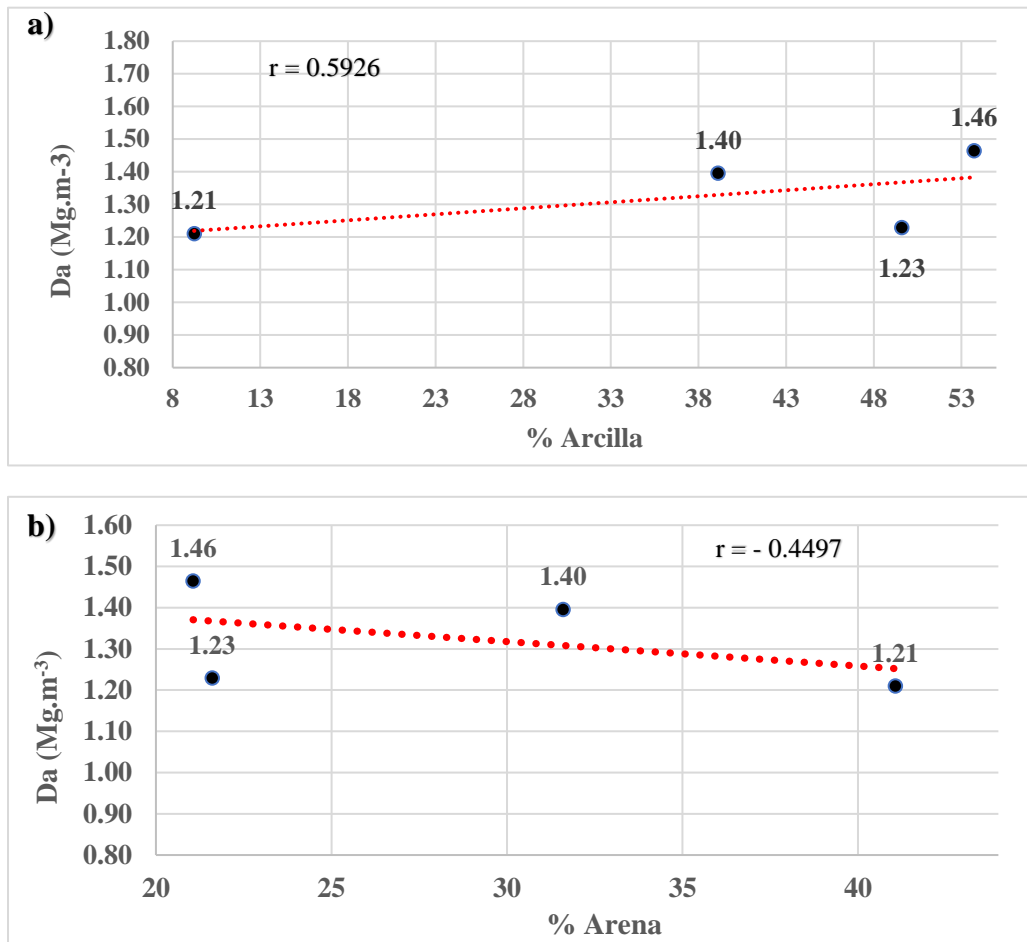
Horizonte	Profundidad (cm)	% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA)				Clase textural	Da Mg.m ⁻³
		Gravas > 2.0	Arena 2.0 - 0.05	Limo 0.05 - 0.002	Arcilla < 0.002		
Ap	0 - 61	-	41.06	49.72	9.22	Fr. L.	1.21
Bw1	61 - 77	-	21.06	25.22	53.72	Fr. L.	1.46
Bw2	77 - 115	-	21.6	29.28	49.6	Ar.	1.23
Bw3	115 - 170	20	31.6	29.28	39.12	Fr. Ar.	1.40

Nota: donde Da corresponde a la densidad aparente expresada en Mg·m⁻³.

En la Figura 13a, se muestra la correlación entre la densidad aparente (Mg.m⁻³) y contenido de arcilla (%), indicando que tiene una tendencia positiva y con una $r = 0.5926$ el cual nos indica que, existe una correlación moderadamente alta entre las variables, es decir a medida que aumenta el porcentaje de arcilla también se incrementa la densidad aparente. Por otro lado, en la Figura 13b, se muestra la correlación entre la Da y contenido de arena (%), indicando que tiene una correlación negativa moderada y con $r = -0.4497$, es decir que, al aumentar el porcentaje de arena, la densidad aparente tiende a disminuir.

Figura 13

Correlación de la densidad aparente con el contenido de arcilla y arena en el suelo (CAL - 3)



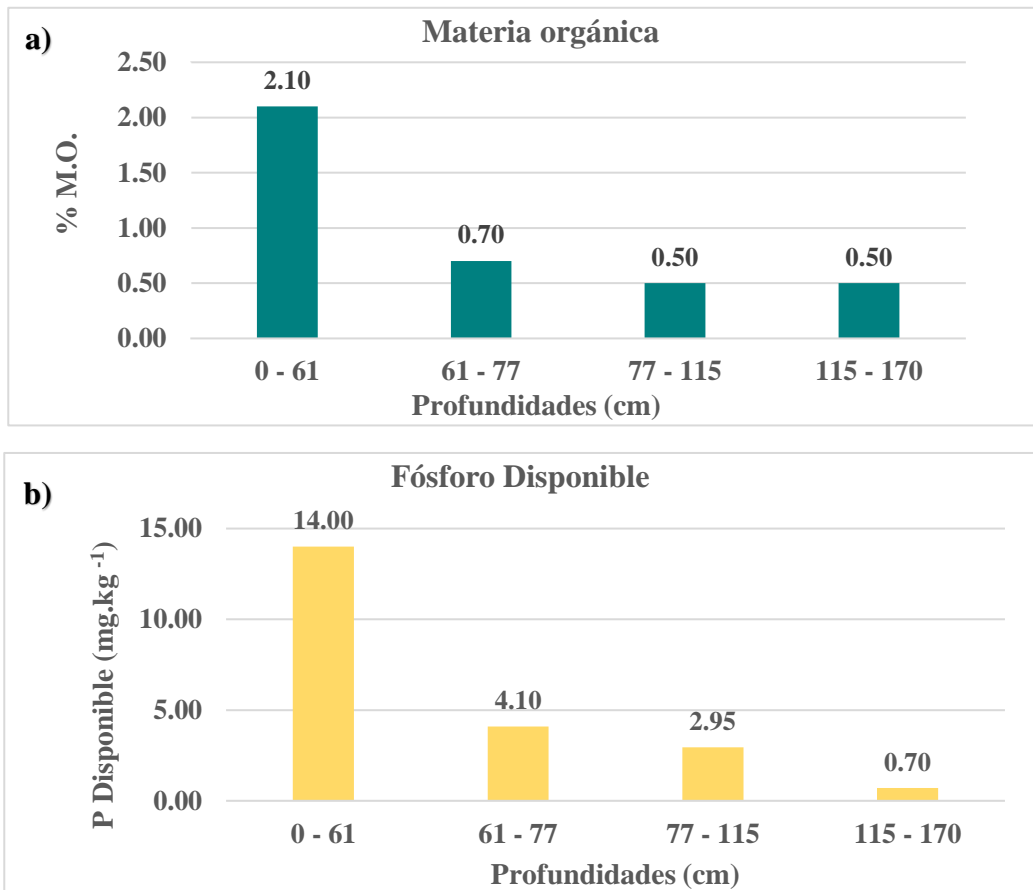
Nota: La Figura 13a muestra la correlación entre la densidad aparente y porcentaje de arcilla, mientras que la Figura 13b presenta la correlación entre la densidad aparente y porcentaje de arena.

Las propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo (Tabla 9), revelan que tiene un pH extremadamente ácido en el horizonte (Ap) y muy fuertemente ácida en los demás horizontes. Además, se observan los niveles bajos de conductividad eléctrica, lo que indica la ausencia de carbonatos de calcio. En cuanto al primer horizonte (Ap), tiene un medio porcentaje de materia orgánica con un 2.10 %. Respecto a los nutrientes disponibles en este primer horizonte (Ap), el potasio disponible presenta un nivel medio (117.30 mg.kg⁻¹) y el contenido de fósforo disponible también se encuentra en un nivel medio (14 mg.kg⁻¹). Por lo tanto,

considerando la intervención antrópica, la fertilidad de este suelo se clasifica como media (Figura 14a y 14b).

Figura 14

Gráficos de barras de materia orgánica y fósforo disponible según la profundidad en el suelo (CAL - 3)



Nota: donde a) Materia orgánica (M.O.) y b) fósforo disponible por profundidad de suelo.

Tabla 9

Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo con intervención antrópica

(CAL - 3)

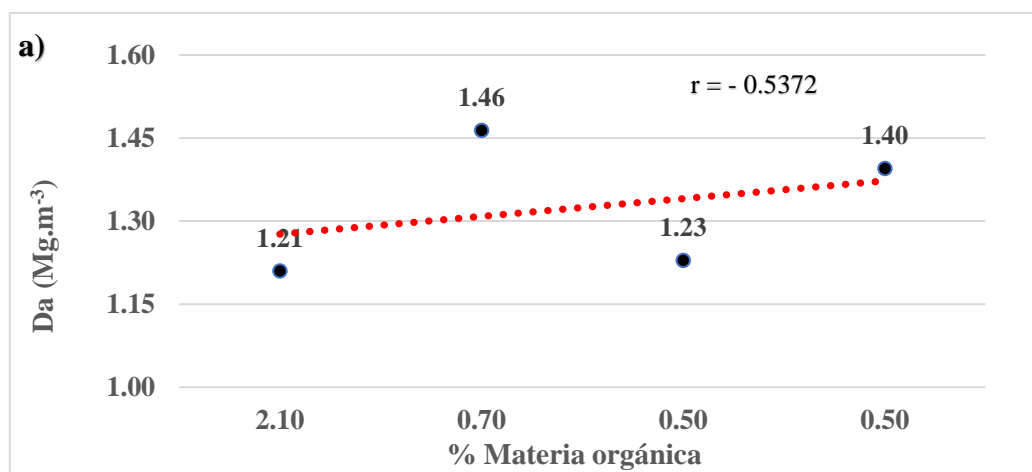
Horizonte	Profundidad (cm)	pH (1:1)	CE (ds.m ⁻¹)	CaCO ₃ (%)	M.O. (%)	Nt (%)	K Dis		P Dis	
							(mg.kg ⁻¹)		(mg.kg ⁻¹)	
Ap	0 - 61	4.40	0.04	0.00	2.10	0.11	117.30	14.00		
Bw1	61 - 77	4.60	0.02	0.00	0.70	0.02	78.20	4.10		
Bw2	77 - 115	4.50	0.03	0.00	0.50	0.02	117.30	2.95		
Bw3	115 - 170	4.94	0.02	0.00	0.50	0.02	117.30	0.70		

Nota: En caso del Nt = Nitrógeno total se entiende que su nivel es alto y el termino Dis = a la Disponibilidad de potasio y fósforo.

En la (Figura 15a), se muestra la correlación entre la Densidad aparente y el contenido de materia orgánica (%), indicando que tiene una correlación negativa moderadamente alta y con $r = - 0.5372$, es decir a mayor contenido de materia orgánica, la densidad aparente del suelo es menor; en cambio, cuando el contenido de materia orgánica disminuye tiende por incrementar la Da.

Figura 15

Correlación de la densidad aparente con el contenido de materia orgánica en el suelo (CAL - 3)

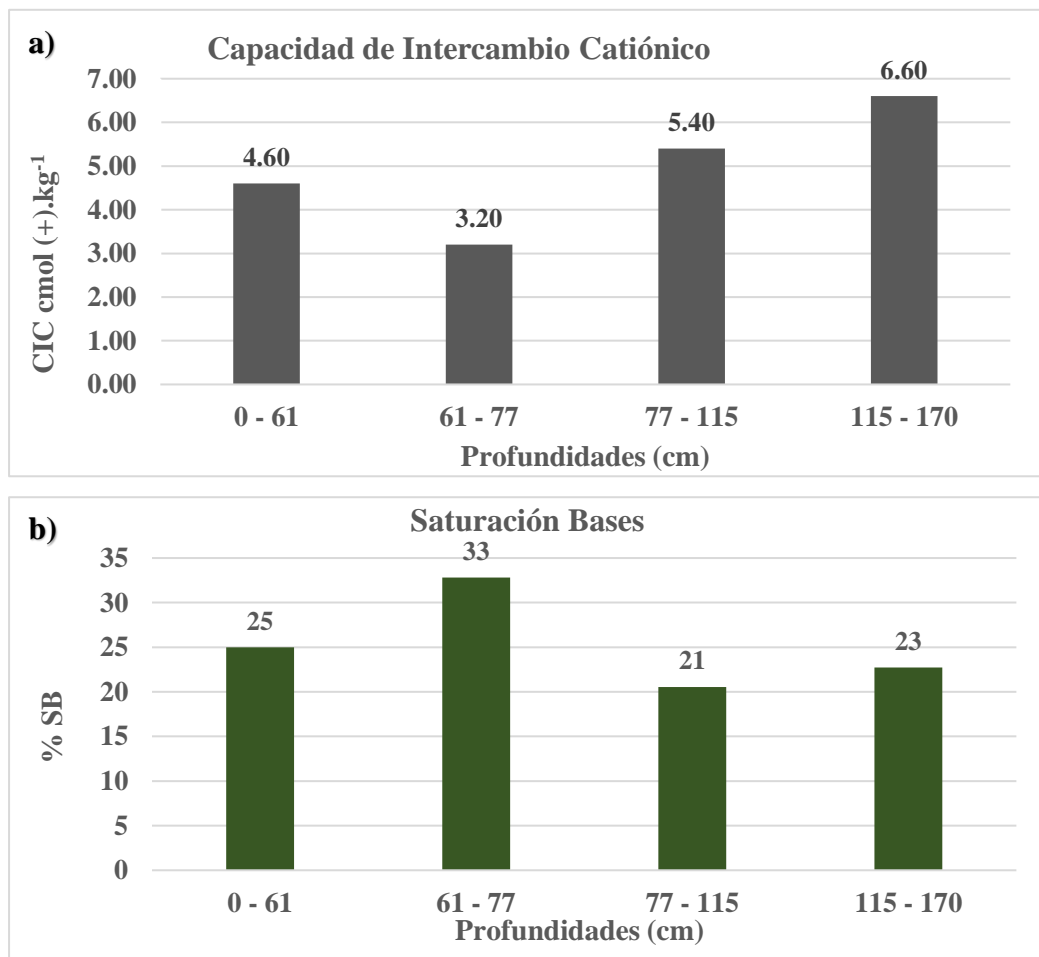


Nota: En la Figura 15a se presenta la correlación entre la densidad aparente y el contenido de materia orgánica, evidenciando una relación negativa muy alta.

Las propiedades de sorción del suelo (Tabla 10), revelan que en el primer horizonte (Ap), la capacidad de intercambio catiónico es de un nivel muy bajo, registrando un rango de $4.60 \text{ cmol (+).kg}^{-1}$. Asimismo, la saturación de bases en este mismo horizonte (Ap) muestra también un nivel bajo, con un 25% (Figura 16a y 16b).

Figura 16

Gráficos de barras de la CIC y saturación de bases según la profundidad en el suelo (CAL - 3)



Nota: La capacidad de intercambio catiónico (CIC) disminuye conforme aumenta la profundidad, mientras que la saturación de bases (SB) está disminuyendo a lo largo del perfil.

Tabla 10*Propiedades de sorción del suelo con intervención antrópica (CAL - 3)*

Horizonte	Profundidad (cm)	CIC	Cationes cambiabiles					SB (%)
			Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺³ +H ⁺	
Ap	0 - 61	4.60	0.60	0.20	0.05	0.30	2.70	25
Bw1	61 - 77	3.20	0.60	0.20	0.05	0.20	1.20	33
Bw2	77 - 115	5.40	0.60	0.20	0.01	0.30	3.30	21
Bw3	115 - 170	6.60	1.00	0.20	0.00	0.30	4.20	23

Nota: donde (CIC) es la Capacidad de intercambio catiónico y (SB) es Saturación de base.

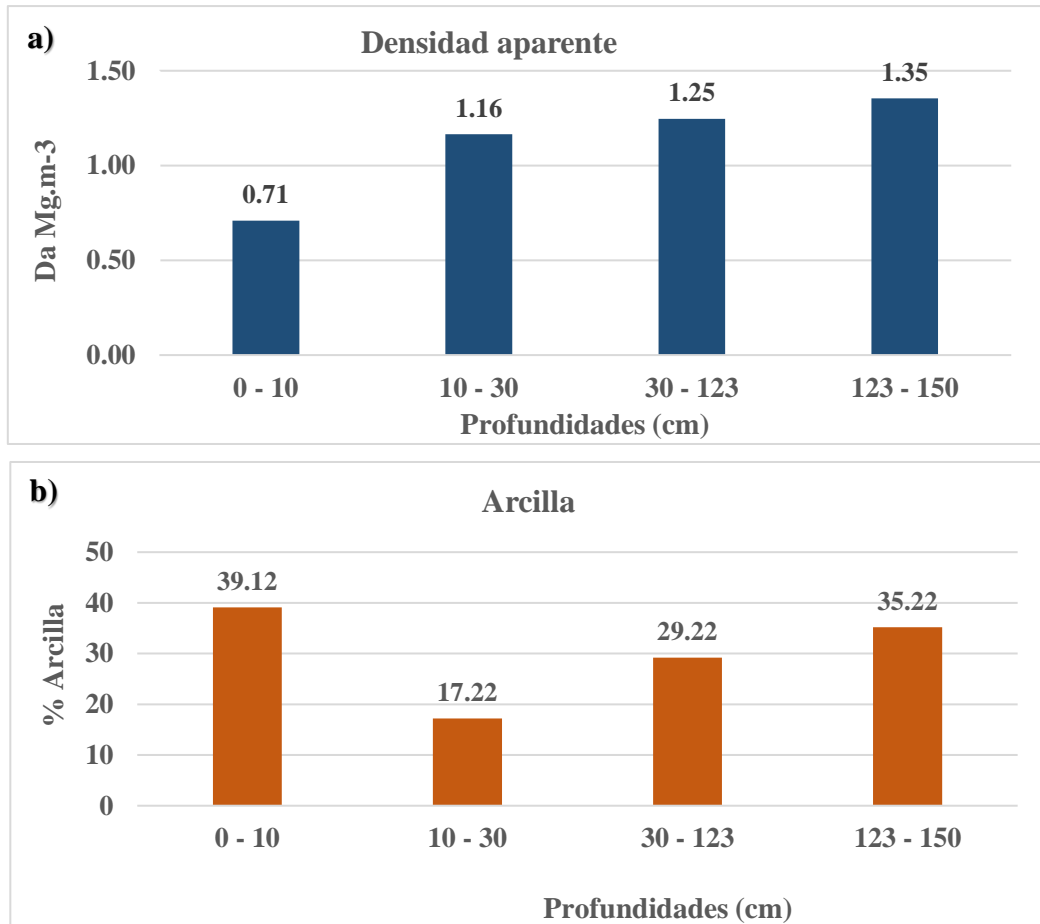
4.1.4. Suelo Esperanza Segundo - suelo en estado natural

El suelo Esperanza Segundo CAL - 4 (Tabla 11), ubicado en la Sección Alto Centro a una altitud de 1340 m.s.n.m., corresponde a un área de bosque húmedo caracterizada por la presencia de plantas como Bambú, Chirú y Cedro. Este suelo se desarrolló a partir de un material parental coluvial y se localiza en una ladera de montaña con una pendiente que varía entre 15 - 25 %, siendo clasificado como moderadamente empinada. Presenta cuatro horizontes, correspondientes al perfil A/C1/C2/C3, alcanzando una profundidad de 1.50 m antes de llegar a la roca madre. La textura del suelo es franco arcilloso hasta los 10 cm, franco entre los 10 a 30 cm y franco arcilloso de los 30 a 150 cm. Por otro lado, los colores de los suelos están entre negro, pardo amarillento y pardo fuerte.

La densidad aparente del horizonte A es baja (0.71 Mg.m^{-3}), indicando una buena porosidad en capa superficial, mientras que los horizontes C 1, C2 y C3 presentan valores más altos (1.16 y 1.35 Mg.m^{-3} respectivamente), lo cual puede influir en la resistencia a la penetración de raíces y en el drenaje interno del suelo, donde también se observa el aumento del contenido de arcilla en los horizontes profundos (Figura 17a y 17b).

Figura 17

Gráficos de barras de densidad aparente y arcilla según la profundidad en el suelo (CAL - 4)



Nota: donde a) densidad aparente por profundidad, b) arcilla por profundidad.

Tabla 11

Textura y densidad aparente del suelo en estado natural (CAL - 4)

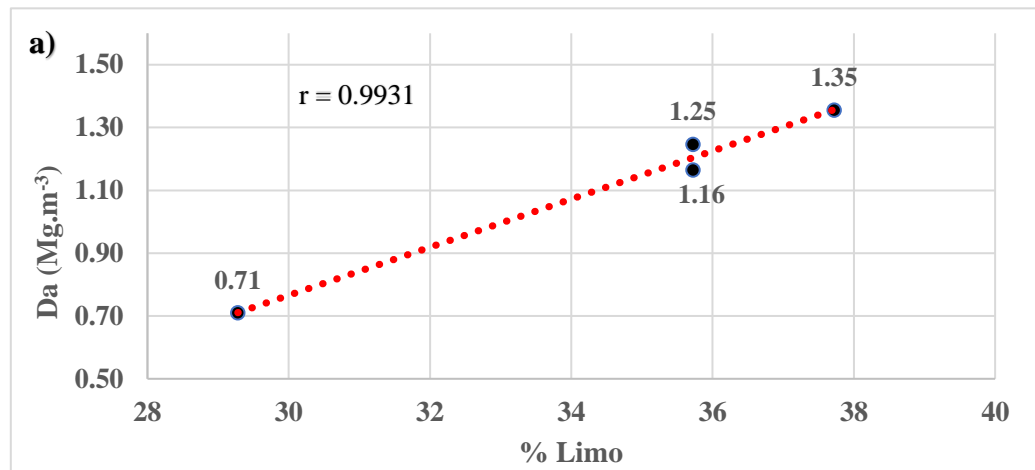
Horizonte	Profundidad (cm)	% de fracciones, tamaño de las fracciones en mm, (USDA)				Clase textural	Da Mg.m ⁻³
		Gravas > 2.0	Arena 2.0 - 0.05	Limo 0.05 - 0.002	Arcilla < 0.002		
A	0 - 10	-	31.6	29.28	39.12	Fr. Ar.	0.71
C1	10 - 30	70	47.06	35.72	17.22	Fr.	1.16
C2	30 - 123	15	35.06	35.72	29.22	Fr. Ar.	1.25
C3	123 - 150	25	27.06	37.72	35.22	Fr. Ar.	1.35

Nota: donde Da corresponde a la densidad aparente expresada en Mg·m⁻³.

En la (Figura 18a), se muestra la correlación entre la D_a y contenido de limo (%), indicando que tiene una correlación positiva muy alta y con $r = 0.9931$, es decir que, al aumentar la fracción de limo, la densidad aparente tiende a aumentar.

Figura 18

Correlación de la densidad aparente con el contenido de limo (CAL - 4)

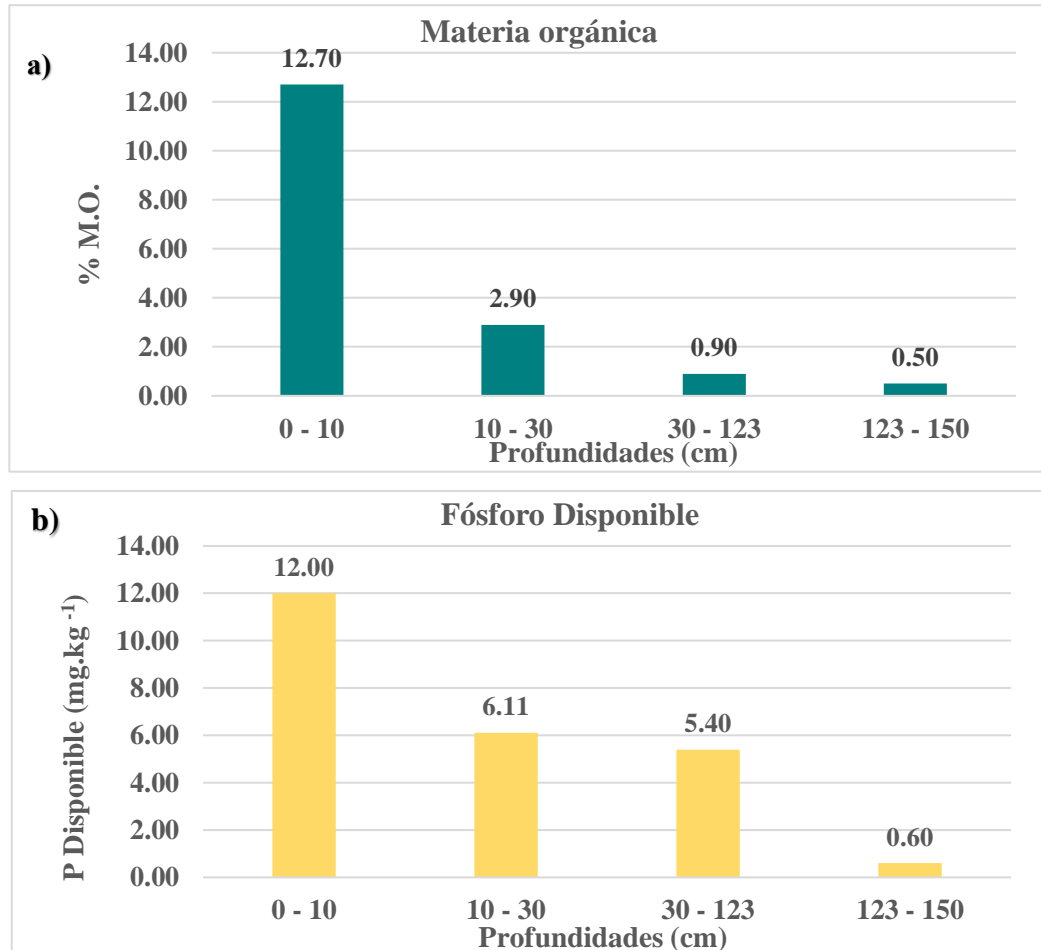


Nota: La Figura 18a presenta la correlación entre la densidad aparente y el porcentaje de limo.

Las propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo (Tabla 12), revelan que tiene un pH extremadamente ácido en los horizontes A/C1 y muy fuertemente ácido en los demás horizontes. Además, se observan los niveles bajos de conductividad eléctrica, lo que indica la ausencia de carbonatos de calcio. En cuanto al primer horizonte (A), destaca por su alto porcentaje de materia orgánica con un 12.70 %. Respecto a los nutrientes disponibles en este primer horizonte (A), el potasio disponible presenta un nivel alto (312.80 mg.kg⁻¹) y el contenido de fósforo disponible también se encuentra en un nivel medio (12.00 mg.kg⁻¹). Por lo tanto, se considera que la fertilidad de este suelo en estado natural se clasifica como alto (Figura 19a y 19b).

Figura 19

Gráficos de barras de materia orgánica y fósforo disponible según la profundidad en el suelo (CAL - 4)



Nota: donde a) Materia orgánica (M.O.) y b) fósforo disponible por profundidad de suelo.

Tabla 12

Propiedades químicas y fisicoquímicas del suelo en estado natural (CAL - 4)

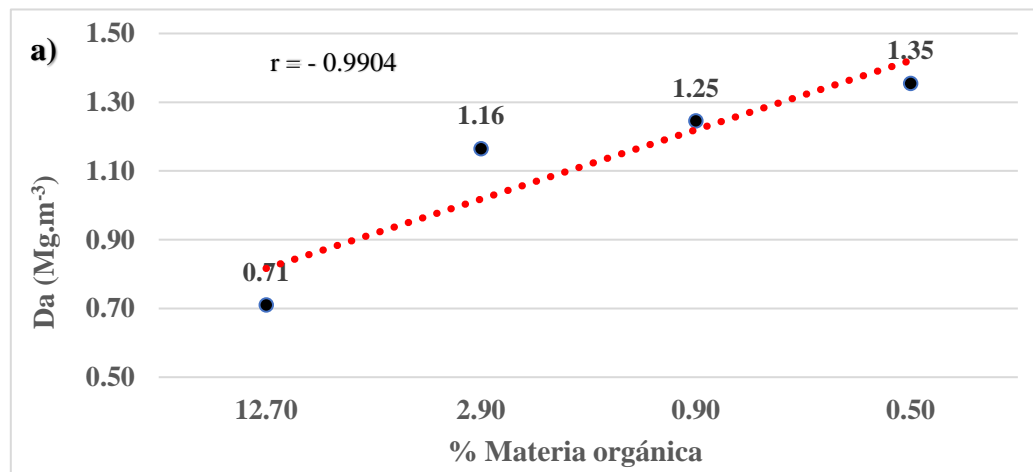
Horizonte	Profundidad (cm)	pH (1:1)	CE (ds.m ⁻¹)	CaCO ₃ (%)	M.O. (%)	Nt (%)	K		P Dis
							Dis (mg.kg ⁻¹)		
A	0 - 10	3.50	0.22	0.00	12.70	0.44	312.80	12.00	
C1	10 - 30	3.80	0.06	0.00	2.90	0.10	117.30	6.11	
C2	30 - 123	4.60	0.03	0.00	0.90	0.03	117.30	5.40	
C3	123 - 150	4.70	0.02	0.00	0.50	0.01	117.30	0.60	

Nota: En caso del Nt = Nitrógeno total se entiende que su nivel es alto y el termino Dis = a la Disponibilidad de potasio y fósforo.

En la (Figura 20a), se muestra la correlación entre la Densidad aparente y el contenido de materia orgánica (%), indicando que tiene una correlación negativa muy alta y con $r = - 0.9904$, es decir a mayor contenido de materia orgánica, la densidad aparente del suelo es menor; en cambio, cuando el contenido de materia orgánica disminuye tiende por incrementar la Da.

Figura 20

Correlación de la densidad aparente con el contenido de materia orgánica (CAL - 4)

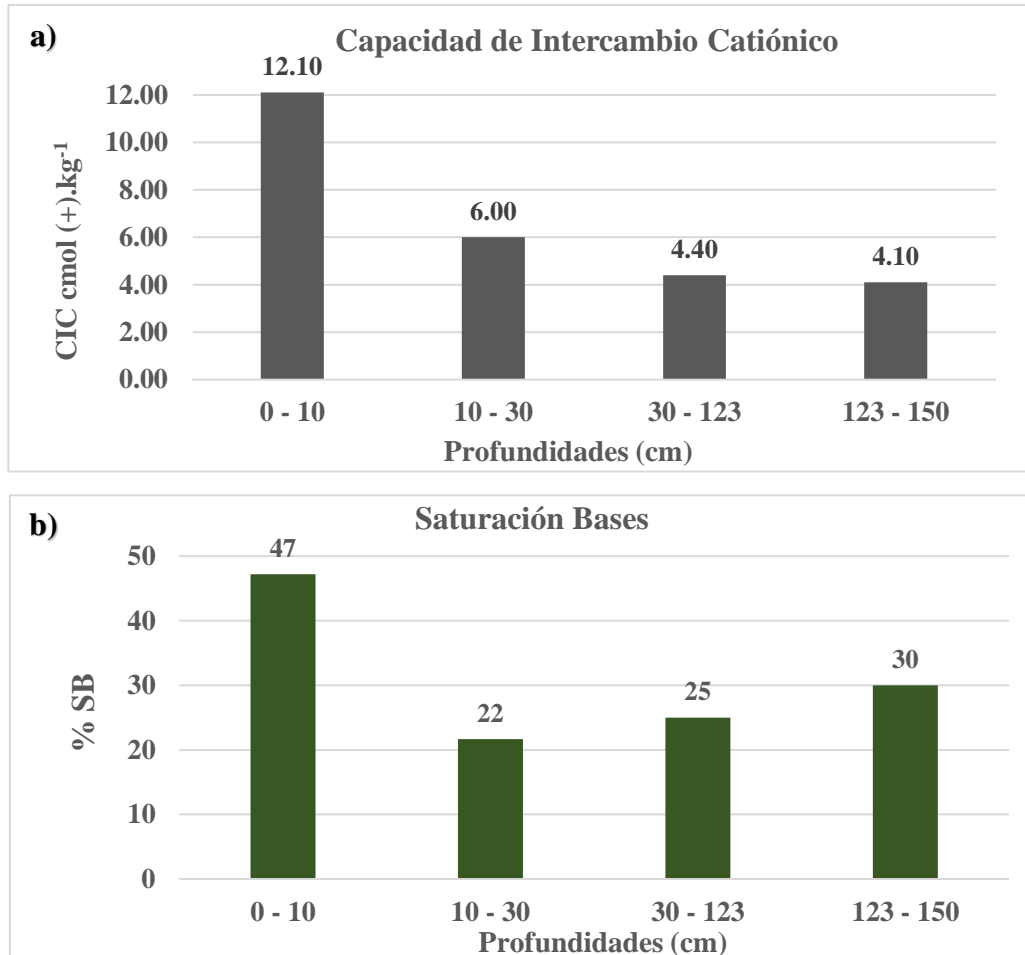


Nota: En la Figura 20a se presenta la correlación entre la densidad aparente y el contenido de materia orgánica, evidenciando una relación negativa muy alta.

Las propiedades de sorción del suelo (Tabla 13), revelan que en el primer horizonte (A), la capacidad de intercambio catiónico es de un nivel media, registrando un rango de 12.10 cmol (+).kg⁻¹. Asimismo, la saturación de bases en este mismo horizonte (A) también es una media, con un 47% (Figura 21a y 21b).

Figura 21

Gráficos de barras de la CIC y saturación de bases según la profundidad en el suelo (CAL - 4)



Nota: La capacidad de intercambio catiónico (CIC) disminuye conforme aumenta la profundidad, mientras que la saturación de bases (SB) está disminuyendo e incrementando a lo largo del perfil.

Tabla 13

Propiedades de sorción del suelo en estado natural (CAL - 4)

Horizonte	Profundidad (cm)	CIC	Cationes cambiables					SB (%)
			Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Al ⁺³ +H ⁺	
			cmol (+).kg ⁻¹					
A	0 - 10	12.10	2.00	2.90	0.01	0.80	5.30	47
C1	10 - 30	6.00	0.70	0.30	0.00	0.30	3.10	22
C2	30 - 123	4.40	0.60	0.20	0.00	0.30	2.10	25
C3	123 - 150	4.10	0.70	0.20	0.03	0.30	2.70	30

Nota: donde (CIC) es la Capacidad de intercambio catiónico y (SB) es Saturación de base



Según la investigación de Mamani (2023), en la estación experimental San Gabán, los suelos tienen una textura franco arenosa, un pH fuertemente ácido y una fertilidad natural media (7.11 % de materia orgánica). En comparación, los suelos de nuestro estudio muestran un claro contraste por tipo de uso. Los suelos antrópicos (CAL-1 y CAL-3) tienen texturas franco arcilloso, un pH extremadamente ácido y contenido de materia orgánica medio (2.10–3.10 %). En cambio, los suelos naturales (CAL-2 y CAL-4) presentan texturas franco y franco arcilloso, un alto contenido de materia orgánica (12.70–14.20 %) y una fertilidad media. Por lo tanto, si bien existe una similitud en la tendencia general de acidez del suelo, las diferencias en materia orgánica son críticas y coinciden con las observaciones del autor sobre la importancia de la fertilidad en los suelos de la región, destacando que la intervención antrópica es el factor dominante en su degradación y pérdida acelerada.

Según la investigación de Suntaxi & Toscano (2022), sobre los suelos del Páramo en la microcuenca del Río La Chimba, los suelos, tanto intervenidos como no intervenidos, se caracterizan por un pH ligeramente ácido (5.10 a 5.76), una densidad entre 0.87 a 1.58 $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ y un contenido de materia orgánica de 4.52 a 12.37 %. El autor concluye que las actividades antrópicas tienen una influencia significativa en el contenido de carbono orgánico del suelo. Al comparar estos resultados con nuestro estudio en la Sección Alto Centro, se observan diferencias notables. Los suelos, tanto con intervención como en estado natural, tienen un pH más ácido (extremadamente ácido a muy fuertemente ácido). En cuanto a las propiedades físicas y químicas, nuestro estudio muestra un rango de densidad aparente de 0.63 a 1.17 $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ y un contenido de materia orgánica de 2.10 a 14.20 %. Estas diferencias demuestran que, si bien la intervención humana afecta las



propiedades del suelo en ambos ecosistemas, las características de la Sección Alto Centro, con su pH más bajo y su contenido de materia orgánica más diverso, son distintas a las del Páramo y merecen ser analizadas bajo su propio contexto ecológico.

Los suelos con intervención antrópica de San Lorenzo Primero y San Lorenzo Segundo, mostraron una clara tendencia de incremento de la densidad aparente con la profundidad, alcanzando valores de 1.52 y 1.46 $\text{Mg}\cdot\text{m}^{-3}$, respectivamente, en los horizontes profundos. Estos valores elevados pueden afectar negativamente la resistencia a la penetración de raíces y el drenaje interno del suelo, lo cual es consistente con lo reportado por Novillo et al. (2018) y Peña & Cardona (2010), quienes señalan que las prácticas agrícolas intensivas, como el monocultivo, provocan la compactación y degradación de los suelos.

En los suelos con intervención antrópica de SLP y SLS se observó que la densidad aparente aumenta con la profundidad y que la materia orgánica disminuye, lo que indica cierta pérdida de fertilidad natural. Estos cambios son similares a los encontrados por Horák et al. (2023) en Brasil, donde la actividad humana redujo el carbono orgánico y la capacidad de retener agua. Esto demuestra que el uso humano del suelo puede afectar su estructura y funcionamiento, y refuerza la importancia de adoptar prácticas de manejo que lo protejan.

4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS EVALUADOS SEGÚN EL SISTEMA WRB

4.2.1. Clasificación de suelos según el sistema WRB

Tabla 14

Clasificación de suelos según el sistema WRB

BASE REFERENCIAL MUNDIAL - WRB (2022)				
Grupo de Suelos de Referencia (GSR)	Calificadores principales	Clasificación WRB	Calificadores Suplementarios	Suelo
Cambisols	Chromic, Dystric	CAMBISOLS	Loamic, Ochric	CAL 1
			Loamic, Geoabruptic, Ochric	CAL 2
Umbrisol	Someric, Cambic	UMBRISOLS	Siltic, Abruptic, Dystric, Humic, Pachic	CAL 3
Regosols	Protic, Dystric	REGOSOLS	Loamic; Ochric	CAL 4

Nota: Donde (CAL) hace referencia a calicata. Luego, (CAL 1) corresponde al suelo San Lorenzo Primero – Suelo con intervención antrópica, (CAL 2) corresponde al suelo Esperanza Primero - Suelo en estado natural, (CAL 3) corresponde al suelo San Lorenzo Segundo - Suelo con intervención antrópica, (CAL 4) corresponde al suelo Esperanza Segundo - Suelo en estado natural.

De acuerdo a IUSS Working Group WRB (2022), el proceso de clasificación de suelos se desarrolló siguiendo sus tres fases: primero, la identificación de horizontes, propiedades y minerales de diagnóstico, segundo paso, la asignación del suelo un Grupo de Suelo de Referencia (GSR) y tercer paso, la asignación de calificadores principales y suplementarios.

El perfil de suelo correspondiente a San Lorenzo Primero suelo con intervención antrópica del Sección Alto Centro a una altitud de 1620 m.s.n.m., se clasificó como Cambisols, se presentan con los calificadores principales Chromic,



que tiene entre 25 y 150 cm de la superficie del suelo mineral y presenta un horizonte cambico; Dystric, el suelo presenta una baja saturación de bases menor a 50%. Los calificadores suplementarios incluyen Loamic, que corresponde a texturas Franco en varias capas, con un espesor de \geq a 30 cm dentro de 100 cm desde la superficie del suelo mineral; Ochric, el suelo está compuesto un carbono orgánico igual o superior al 0.2% en los primeros 10 cm de la capa mineral. Por lo tanto, no presenta un horizonte mullico u úmbrico para que no sea un calificador Humic.

El perfil de suelo correspondiente a Esperanza Primero suelo en estado natural del Sección Alto Centro a una altitud de 1620 m.s.n.m., se clasifico igualmente como Cambisols, se presentan los calificadores principales Chromic, que tiene entre 25 y 150 cm de la superficie del suelo mineral que tiene un horizonte cambico; Dystric, el suelo presenta una baja saturación de bases menor a 50%. Los calificadores suplementarios incluyen Geoabruptic, el suelo tiene una diferencia textural abrupta dentro de los 100 cm de la superficie del suelo mineral; Loamic, que corresponde a texturas Franco arenoso y Franco en una o en varias capas, con un espesor de \geq a 30 cm dentro de 100 cm desde la superficie del suelo mineral; Colluvic, el suelo tiene un material colúvico de mayor o igual a 20 cm.; Ochric, el suelo está compuesto un carbono orgánico igual o superior al 0.2% en los primeros 10 cm de la capa mineral. Por lo tanto, no presenta un horizonte mullico u úmbrico para que no sea un calificador Humic.

El perfil de suelo correspondiente a San Lorenzo Segundo suelo con intervención antrópica del Sección Alto Centro a una altitud de 1340 m.s.n.m., se clasificó como Umbrisols, se presentan los calificadores principales Someric, el suelo tiene un horizonte Úmbrico con menor de 20 cm de espesor; Cambic, que



posee un horizonte cámbico que comienza a < 50 cm y no consiste de un material álbico. Los calificadores suplementarios incluyen Siltic, presenta una clase textural Franco limoso en una capa de mayor o igual a 30 cm de espesor, dentro de menor o igual a 100 cm de la superficie del suelo mineral; Abruptic, compuesto de una diferencia textural abrupta dentro de menor o igual 100 cm de la superficie del suelo mineral; Distric, el suelo presenta una baja saturación de bases menor a 50%; Humic, presenta $>1\%$ de carbono orgánico del suelo hasta una profundidad de 50 cm de la superficie del suelo mineral; Pachic, compuesta por un horizonte úmbrico de mayor o igual 50 cm de espesor.

El perfil de suelo correspondiente a Esperanza Segundo suelo en estado natural del Sección Alto Centro a una altitud de 1340 m.s.n.m., se clasifico como Regosols, presenta los calificadores principales Colluvic, el suelo tiene un material colúvico de ≥ 20 cm de espesor que comienza en la superficie del suelo mineral; Protic, el suelo no muestra desarrollo de horizontes; Dystric, presenta una base de saturación menor al 50%. Los calificadores suplementarios incluyen Loamic, que corresponde a texturas franca y franco arcilloso en una o varias capas, con un espesor de ≥ 30 cm dentro de los primeros 100 cm desde la superficie del suelo mineral; Ochric, el suelo presenta un carbono orgánico igual o superior al 0.2% en los primeros 10 cm de la capa mineral.

Mamani (2023) realizó una calicata en los suelos de San Gabán y, de acuerdo con la clasificación de la Base Referencial Mundial de Suelos (WRB), identificó el suelo como Cambisol. Este resultado presenta similitud con los obtenidos en el presente estudio, donde las calicatas San Lorenzo Primero y Esperanza Primero, ubicadas en la Sección Alto Centro, también fueron clasificadas dentro del mismo Grupo de Suelos de Referencia.



Por su parte, Muñoz (2024) reportó la presencia de Cambisoles y Umbrisoles, atribuyendo esta clasificación a la existencia de un horizonte úmbrico. De manera similar, en el presente estudio se identificó un horizonte úmbrico en el perfil Esperanza Segundo, también perteneciente a la Sección Alto Centro.

Asimismo, Świtoniak & Charzyński (2022) estudiaron la secuencia de suelos en la cuenca amazónica peruana, en las regiones de Puno y Madre de Dios, donde identificaron Cambisoles con distintos grados de evolución, desde formas incipientes hasta más desarrolladas. De manera similar, en esta investigación se identificaron Cambisoles en San Lorenzo Primero y Esperanza Primero.

De igual forma, Canque (2025), en su estudio sobre la clasificación de los suelos del bosque de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno, identificó que los suelos de las zonas bajas correspondían a Cambisoles, mientras que los de las zonas altas fueron clasificados como Regosoles. El presente estudio muestra similitud, ya que se determinaron Cambisoles en las calicatas San Lorenzo Primero y Esperanza Primero, y Regosoles en la Sección Alto Centro, específicamente en el perfil Esperanza Segundo.

Por otro lado, Sardón (2023) clasificó los suelos del Centro Experimental de Tambopata como Inceptisoles, empleando el sistema de clasificación Soil Taxonomy. Este resultado guarda similitud con el presente estudio, donde, aplicando la WRB, los suelos de San Lorenzo Primero y Esperanza Primero se identificaron como Cambisoles.

De manera concordante, Pari (2024) desarrolló un estudio en la microcuenca Yurajmayo - San Juan del Oro, donde gran parte de los suelos fueron



clasificados como Inceptisoles según la Soil Taxonomy. Este resultado presenta una clara similitud con la clasificación obtenida en esta investigación mediante la WRB, donde los suelos de San Lorenzo Primero y Esperanza Primero fueron identificados como Cambisoles.

4.2.2. Distribución de los suelos Cambisoles y manejo

Los suelos Cambisoles ocupan grandes extensiones a nivel mundial, ocupando aproximadamente 1 500 millones de hectáreas, sobre todo en zonas templadas y también en zonas secas. Su formación está asociada a materiales parentales jóvenes y a procesos de desarrollo pedogenético lento, especialmente en climas fríos (IUSS Working Group WRB, 2014).

Respecto a su manejo, los Cambisoles son considerados suelos de buena calidad agrícola. En condiciones favorables pueden ser muy productivos, mientras que los más ácidos suelen usarse para cultivos mixtos, pastoreo o reforestación. En pendientes pronunciadas se recomienda mantenerlos bajo cobertura boscosa para evitar la erosión. En llanuras aluviales, especialmente con riego, se aprovechan para cultivos como cereales y oleaginosas.

4.2.3. Distribución de los suelos Umbrisoles y manejo

Los suelos Umbrisoles ocupan cerca de 100 millones de hectáreas a nivel mundial, principalmente en regiones húmedas de clima frío a templado y en áreas montañosas sin déficit de humedad. En Sudamérica se encuentran en las cordilleras andinas de Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú, así como en zonas montañosas de Brasil. También aparecen en América del Norte, Europa atlántica, Asia, Oceanía y en cadenas montañosas de África como Drakensberg (IUSS Working Group WRB, 2014).



En cuanto a su manejo, los Umbrisoles suelen estar bajo vegetación natural como bosques y pastizales. Su uso agrícola es limitado por las pendientes fuertes y condiciones frías y húmedas, por lo que se destinan principalmente a pastoreo extensivo. Para mejorar su aprovechamiento se recomienda la introducción de pastos mejorados, la corrección de la acidez con encalado y el establecimiento de terrazas en laderas. En condiciones favorables, pueden destinarse a cultivos perennes como café, té o quina, aunque requieren un manejo intensivo de nutrientes.

4.2.4. Distribución de los suelos Regosoles y manejo

Los suelos Regosoles cubren aproximadamente 260 millones de hectáreas a nivel global, principalmente en regiones áridas de EE. UU., el norte de África, el Cercano Oriente y Australia. Por otra parte, los 50 millones de hectáreas se encuentran en los trópicos secos y 36 millones en zonas montañosas (IUSS Working Group WRB, 2014).

En cuanto a su manejo, los Regosoles en ambientes desérticos tienen escaso valor agrícola debido a su baja capacidad de retención de agua, por lo que requieren riego constante para producir cultivos, lo cual suele ser costoso. Sin embargo, en zonas con mayor precipitación, prácticas como el barbecho labrado pueden mejorar su productividad. En general, muchos Regosoles se destinan al pastoreo extensivo, mientras que los formados en depósitos coluviales de Europa y Norteamérica se utilizan en cultivos como granos pequeños, remolacha azucarera y frutales. En áreas montañosas son suelos frágiles y se recomienda mantenerlos conservarlos bajo bosque.

4.3. COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE SUELOS CON INTERVENCIÓN ANTRÓPICA Y EN ESTADO NATURAL

Se evaluaron tres variables clave del suelo: fósforo disponible, porcentaje de materia orgánica y densidad aparente, comparando suelos con intervención antrópica y suelos en estado natural. El análisis estadístico de la varianza (ANOVA) y la posterior prueba de comparación de medias demostraron que la intervención humana tiene un efecto significativo en las propiedades clave del suelo en comparación con suelos en estado natural.

4.3.1. Análisis de varianza y comparación de medias de fósforo disponible en los suelos

A partir del análisis de varianza (ANOVA), los resultados mostrados en la (Tabla 15) indican que el tipo de suelo tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la concentración de fósforo disponible.

Específicamente, el p-valor para el factor Suelo (0.0303) es menor al nivel de significancia de 0.05. Esto demuestra que las diferencias en la concentración de fósforo entre los tipos de suelo no son azar, sino que están directamente influenciadas por la naturaleza del suelo.

Tabla 15

Análisis de varianza del fósforo disponible

F.V.	SC	gl	CM	Valor F	p-valor
Modelo	22.25	2	11.03	1102.50	0.0213
Bloque	17.64	1	17.64	1764.00	0.0152
Suelo	4.41	1	4.41	441.00	0.0303
Error	0.01	1	0.01		
Total	22.06	3			

Nota: elaboración propia con el programa *InfoStat*.

La prueba de Tukey confirma que el tipo de suelo tiene un efecto significativo en la concentración de fósforo. Los suelos antrópicos presentan mayor concentración de $11.95 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ que los suelos naturales $9.85 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Las diferencias están marcadas por letras distintas, lo que indica que la intervención humana influye en la disponibilidad del fósforo (Tabla 16).

Tabla 16

Comparación de medias de fósforo disponible según los tipos de suelos

Suelo	Medias	n	E.E.	
Antrópico	11.95	2	0.07	A
Natural	9.85	2	0.07	B

Nota: Medias con letras distintas difieren significativamente según Tukey ($p < 0.05$).

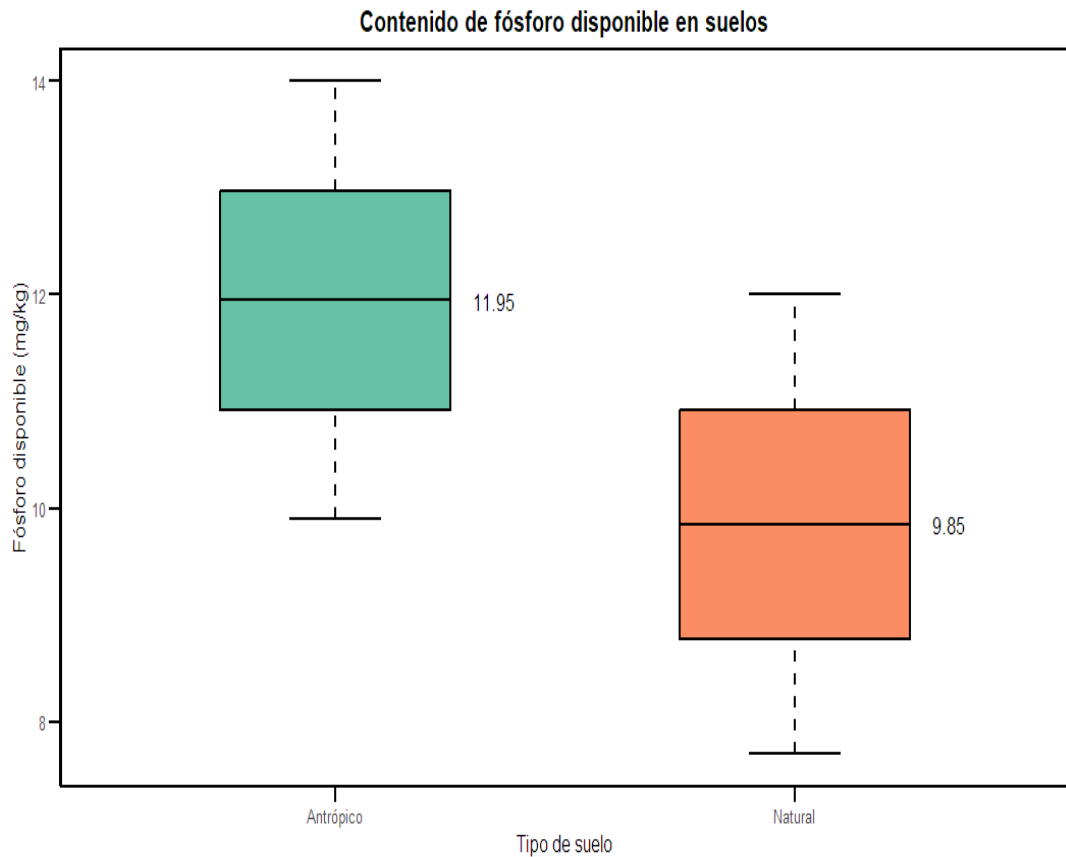
4.3.2. Interpretación del contenido de fósforo disponible en los suelos

En el diagrama de boxplot de contenido de fósforo disponible en los dos tipos suelos (Figura 22), se observa en el suelo antrópico, presenta con una mediana de $11.95 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, con un rango de valores que va desde un mínimo de aproximadamente $9.90 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y un máximo de $14.00 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Por su parte, en el suelo natural, cuenta con una mediana de $9.85 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, además cuenta con un mínimo de $7.70 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ y un máximo de $12.00 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Al comparar ambos tipos de suelo, se evidencia una clara diferencia en el contenido de fósforo. La mediana en el suelo antrópico es considerablemente mayor, lo que indica que este tipo de suelo tiene un contenido de fósforo más elevado que el suelo natural.

Figura 22

Diagrama de Boxplot de fósforo disponible según tipo de suelo



4.3.3. Análisis de varianza y comparación de medias de materia orgánica

Según el análisis de varianza (ANOVA), los resultados de la (Tabla 17) mostraron que el tipo de suelo tuvo un efecto estadísticamente significativo en el contenido de materia orgánica. Esto se evidenció con un p-valor de 0.0147, que fue menor que el nivel de significancia de 0.05.

Este resultado indica que las diferencias en el porcentaje de materia orgánica entre los suelos no se debieron al azar, sino que estuvieron directamente influenciadas por el tipo de suelo.

Tabla 17*Análisis de varianza de materia orgánica*

F.V.	SC	gl	CM	Valor F	p-valor
Modelo	119.29	2	59.64	954.28	0.0229
Bloque	1.56	1	1.56	25.00	0.1257
Suelo	117.72	1	117.72	1883.56	0.0147
Error	0.06	1	0.06		
Total	119.35	3			

Nota: elaboración propia con el programa *InfoStat*.

La comparación de medias con la prueba de Tukey confirma que la diferencia entre los suelos es significativa, ya que los grupos asignados a cada tipo de suelo tienen letras distintas A y B, mostrando que los suelos naturales presentan un contenido medio mucho mayor de materia orgánica 13.45% que los suelos antrópicos 2.60% (Tabla 18).

Tabla 18*Comparación de medias de materia orgánica según tipos de suelos*

Suelo	Medias	n	E.E.	
Antrópico	2.60	2	0.18	A
Natural	13.45	2	0.18	B

Nota: Medias con letras distintas difieren significativamente según Tukey ($p < 0.05$).

4.3.4. Interpretación del contenido de materia orgánica en los suelos

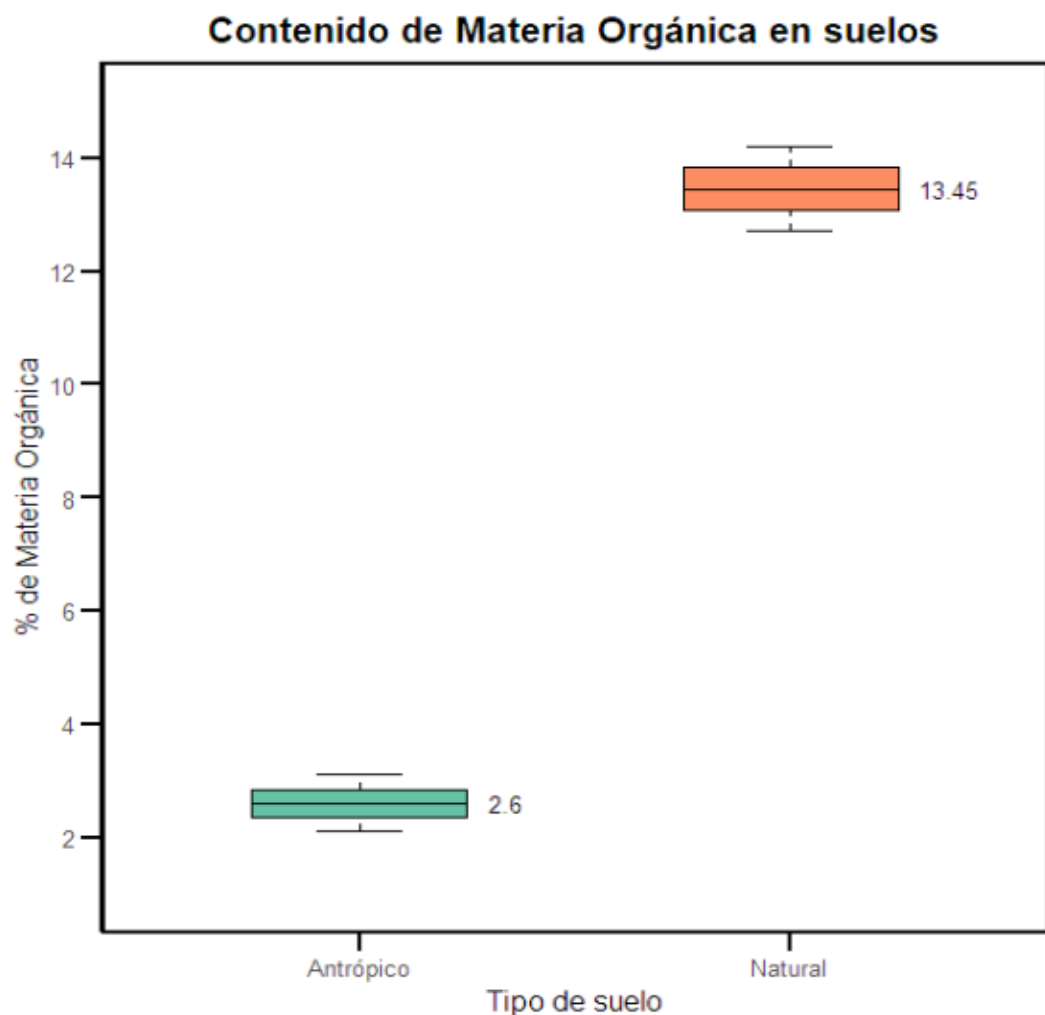
En el diagrama de boxplot del contenido del porcentaje de materia orgánica en los dos tipos suelos (Figura 23), se observa en el suelo Antrópico, presenta con una mediana de 2.60%, con un rango de valores que va desde un mínimo de aproximadamente 2.10% y un máximo de 3.10%. Por su parte, en el

suelo natural, cuenta con una mediana de 13.45%, además cuenta con un mínimo de 12.70% y un máximo de 14.20%.

Al comparar ambos tipos de suelo, se evidencia una clara diferencia en el contenido de materia orgánica. La mediana en el suelo natural es considerablemente mayor, lo que indica que este tipo de suelo tiene un contenido de materia orgánica más elevado que el suelo antrópico.

Figura 23

Diagrama de Boxplot de materia orgánica según tipo de suelo



4.3.5. Análisis de varianza y comparación de medias de la densidad aparente

Según el análisis de varianza (ANOVA) presentado en la (Tabla 19), el tipo de suelo tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la densidad aparente. Este hallazgo se apoya en un p-valor de 0.0245, el cual es inferior al nivel de significancia de 0.05.

Tabla 19

Análisis de varianza de la densidad aparente

F.V.	SC	gl	CM	Valor F	p-valor
Modelo	0.27	2	0.14	342.50	0.0382
Bloque	3.6E-03	1	3.6E-03	9.00	0.2048
Suelo	0.27	1	0.27	676.00	0.0245
Error	4.0E-04	1	4.0E-04		
Total	0.27	3			

Nota: elaboración propia con el programa *InfoStat*.

La comparación de medias de densidad aparente (Tabla 20) mostró que los suelos con intervención antrópica presentan una densidad significativamente mayor ($1.19 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$) en comparación con los suelos naturales ($0.67 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$), resultado confirmado por la prueba de Tukey. Esta diferencia significativa indica que las actividades humanas han provocado un aumento marcado en la compactación del suelo por el aumento de arcilla.

Las causas del aumento de la densidad aparente en el suelo con intervención antrópica no solo son por la agricultura convencional, sino al incremento de arcilla y que en suelos naturales las propiedades están tal cual sin alteración.

Al comparar ambos tipos de suelo, se evidencia una clara diferencia en el contenido de la densidad aparente. La mediana en el suelo antrópico es considerablemente mayor, lo que indica que este tipo de suelo tiene un contenido de la densidad aparente más elevado que el suelo natural.

Tabla 20

Comparación de medias de la densidad aparente según tipos de suelos

Suelo	Medias	n	E.E.	
Antrópico	1.19	2	0.01	A
Natural	0.67	2	0.01	B

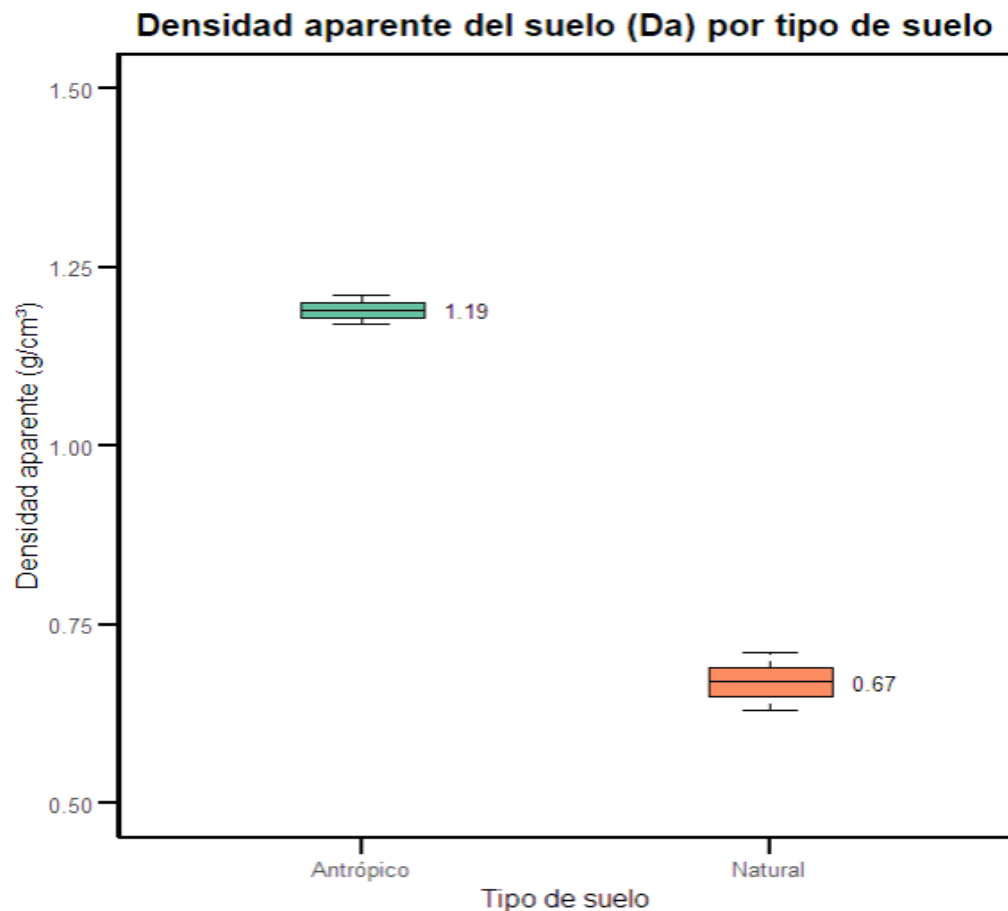
Nota: Medias con letras distintas difieren significativamente según Tukey ($p < 0.05$).

4.3.6. Interpretación del contenido de la densidad aparente en los suelos

En el diagrama de boxplot del contenido de la densidad aparente en los dos tipos suelos (Figura 24), se observa en el suelo Antrópico, presenta con una mediana de 1.19 Mg.m^{-3} , con un rango de valores que va desde un mínimo de aproximadamente 1.17 Mg.m^{-3} y un máximo de 1.21 Mg.m^{-3} . Por su parte, en el suelo natural, cuenta con una mediana de 0.67 Mg.m^{-3} , además cuenta con un mínimo de 0.63 Mg.m^{-3} y un máximo de 0.71 Mg.m^{-3} .

Figura 24

Diagrama de Boxplot de la densidad aparente según tipo de suelo



La comparación de medias (Tabla 16) y el análisis de varianza del fósforo disponible (Tabla 15) demostraron que los suelos con intervención antrópica presentan concentraciones significativamente mayores de este nutriente en comparación con los suelos naturales. Este resultado de aumento de fósforo se debe en efecto a las prácticas de manejo aplicadas en la zona, principalmente el uso de fertilizantes y la quema de vegetación, que generaron un incremento de fósforo disponible. Sin embargo, este estudio presenta una similitud con los estudios realizados por Barahona et al. (2022), en suelos agrícolas de Panamá y por Vega et al. (2019), quienes asociaron la fertilización intensiva con modificaciones sustanciales en las propiedades químicas del suelo a largo plazo.



El análisis de la materia orgánica (Tablas 17 y 18) confirmó diferencias estadísticamente significativas, con valores mucho más elevados en los suelos naturales (13.45%) en comparación con los suelos antrópicos (2.60%). Está marcada reducción responde a la eliminación de la cobertura vegetal nativa, la recurrencia de quemas y el establecimiento de cultivos permanentes como la coca, los cuales, pese a su ciclo largo, no restituyen al suelo la misma cantidad ni calidad de biomasa que los ecosistemas naturales. Este comportamiento es similar con lo reportado por Horák et al. (2023), quienes evidenciaron disminuciones del carbono orgánico en suelos transformados por actividades humanas. Como indican Vega et al. (2019), la materia orgánica constituye un indicador altamente sensible del manejo agrícola y su pérdida compromete la retención de agua, la disponibilidad de nutrientes y la estabilidad estructural del suelo.

En cuanto a la densidad aparente (Tablas 19 y 20), los suelos intervenidos registraron un valor significativamente más alto (1.19 Mg.m^{-3}) frente a los naturales (0.67 Mg.m^{-3}). Este aumento refleja un proceso de compactación derivado de la pérdida de raíces profundas de especies nativas, la reducción de la cobertura vegetal y las quemas recurrentes. Estudios como los de Novillo et al. (2018) y Barahona et al. (2022) también relacionan la intensificación del uso del suelo y la simplificación de la vegetación con un incremento en la densidad aparente. Este fenómeno limita la aireación y la infiltración, restringe el desarrollo radicular y, en consecuencia, afecta la productividad agrícola.

Por último, los resultados estadísticos muestran un patrón sólido donde los suelos con intervención antrópica concentran más fósforo disponible, pero presentan una pérdida sustancial de materia orgánica y un aumento en la densidad aparente. Este comportamiento confirma que las prácticas aplicadas en la zona



como la quema y el uso de fertilizantes generan beneficios inmediatos en la fertilidad química, pero deterioran la calidad física y biológica del suelo. En diferencia, los suelos en estado natural mantienen características más equilibradas, con mayor materia orgánica y menor compactación, que aseguran mejores condiciones de resiliencia y sostenibilidad.



V. CONCLUSIONES

- En la Sección Alto Centro del Sector Pampas de Moho se caracterizaron los tipos de suelos a partir del análisis de sus propiedades físicas y químicas, donde se evidenció una clara intervención antrópica por la agricultura en su formación. En los suelos (CAL - 1) y (CAL - 3), con intervención antrópica, se observaron horizontes superficiales modificados o perturbados, un pH fuertemente ácido y una fertilidad baja a media, atribuida al uso de fertilizantes químicos y al manejo inadecuado del suelo. En diferencia, en los suelos (CAL - 2) y (CAL - 4), en estado natural, se observó una estructura más conservada con alteraciones edafogenéticas, un pH fuertemente ácido y una fertilidad natural que osciló de media a alta.
- Se clasificaron tres Grupos de Suelos de Referencia (GSR) en la Sección Alto Centro según la WRB, los cuales corresponden a Cambisoles, Umbrisoles y Regosoles. Cambisoles están presentes en los suelos del San Lorenzo Primero (CAL - 1) y Esperanza Primero (CAL - 2). Umbrisol se identificaron en los suelos del San Lorenzo Segundo (CAL - 3). Regosol está presente en los suelos Esperanza Segundo (CAL - 4).
- Se compararon los parámetros mediante análisis estadístico, encontrándose diferencias significativas ($p < 0.05$) en el fósforo disponible, el porcentaje de materia orgánica y la densidad aparente demuestran que la actividad humana ha alterado de manera significativa las propiedades físicas y químicas del suelo. La pérdida de materia orgánica y el aumento de la densidad aparente indican un deterioro en la calidad del suelo, mientras que el incremento del fósforo es el resultado de un manejo artificial. Estos hallazgos reafirman la necesidad de un manejo sostenible para mitigar los impactos negativos y conservar los suelos de la zona.



VI. RECOMENDACIONES

- Profundizar los estudios de caracterización física y química en suelos con intervención antrópica en áreas del distrito y la región, para conocer sus propiedades y facilitar la implementación de prácticas de conservación y manejo adecuado.
- Extender los estudios a diferentes zonas de la selva y continuar con la clasificación de suelos que aún no hayan sido investigados, con el objetivo de estimar la superficie ocupada por cada tipo de suelo y clasificarlos según el sistema universal de clasificación WRB.
- Fortalecer el alcance de los estudios incorporando un rango más amplio de sistemas de uso de suelo y aumentando la cantidad de puntos de muestreo, para obtener mayor uniformidad y proporcionar una comprensión más completa de la dinámica del suelo en la región.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, S., Piraneque, N., & Vasquez, J. (2018). Características edáficas y su relación con sus usos del suelo en Santa Marta, Colombia. *Entramado*, 14(1), 252–267. <https://doi.org/https://doi.org/10.18041/entramado.2018v14n1.27141>
- Barahona, L. A., Samaniego, R., Villareal, J., & De la Cruz, A. (2022). Modificación de propiedades del suelo por la continua siembra de tomate industrial en Azuero, Panamá. *Ciencias Agropecuarias*, 35, 53–77. <https://url-shortener.me/3ZWT>
- Bojórquez, I., Nájera, O., Hernández, A., Flores, F., González, A., García, D., & Madueño, A. (2006). Particularidades de formación y principales suelos de la llanura costera norte del estado de Nayarit, México. *Cultivos Tropicales*, 27(4), 19–26. <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/106>
- Buol, S. W., Southard, R. J., Graham, R. C., & McDaniel, P. A. (2011). Soil Genesis and Classification: Sixth Edition. In Soil Genesis and Classification: Sixth Edition. (Ed.), *Soil Genesis and Classification*. <https://doi.org/doi.org/10.1002/9780470960622>
- Canque, D. J. (2025). Clasificación de suelos antrópicos y elaboración de un monolito de suelo de la ciudad universitaria UNA-Puno [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/24442>
- Estupiñan, L. H., Gomez, J. E., Barrantes, V. J., & Limas, L. F. (2009). Efecto de actividades agropecuarias en las características del suelo en el Páramo el granizo, (Cundinamarca - Colombia). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 12(2), 79–89. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262009000200009&lng=en
- García, R. A., & Frankenstein, S. (2015). *USCS and the USDA soil classification system: Development of a mapping scheme* (Vol. 37). www.erd.c.usace.army.mil.
- Gardi, C., Angelini, M., Barceló, S., Comerma, J., Cruz Gaistardo, C., Encina Rojas, A., Jones, A., Krasilnikov, P., Mendonça Santos Brefin, M. L., Montanarella, L., Muñiz



- Ugarte, O., Schad, P., Vara Rodríguez, M. I., & Vargas, R. (2014). *Atlas de los Suelos de América Latina y el Caribe*. <https://doi.org/10.2788/912516>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta edición). <https://n9.cl/wamq0>
- Horák, I., Barros, L., Vinholte, K., & da Silva, F. (2023). Anthropogenic interventions change the soil properties of savanna palm swamps (veredas) from Central Brazil. *Geoderma Regional*, 33, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00644>
- IUSS Working Group WRB. (2014). *Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106* (FAO). <http://www.fao.org>
- IUSS Working Group WRB. (2022). *World Reference Base for Soil Resources - International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps* (Cuarta edición). Working Group WRB. https://www.isric.org/sites/default/files/WRB_fourth_edition_2022-1218.pdf
- Li, J., Du, J., Zhong, S., Ci, E., & Wei, C. (2021). Changes in profile properties and chemical weathering characteristics of cultivated soils affected by anthropogenic activities. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00302-w>
- Mamani, D. J. (2023). *Caracterización, clasificación y elaboración de monolitos de suelos en la Estación Experimental Agraria ILLPA – INIA, Región Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20297>
- Moya, R. (2024). *Clasificación y evaluación de la calidad de los suelos en la Estación Experimental Agraria Illpa – Inia, Región Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/21811>
- Muñoz, M. J. (2024). *Caracterización y clasificación taxonómica de suelos en la provincia de Leoncio Prado* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/3053>



- Noa, S. D. (2021). Deforestación en la región amazónica del Perú: situación y perspectivas. *Revista Electronica de Medioambiente UCM*, 22(2), 20–39. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8488495>
- Novillo, I., Carrillo, M., Cargua, J., Nabel, V., Alban, K., & Morales, F. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios*, 23(2), 177–187. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6587923>
- Pari, J. (2024). Mejoramiento de suelos ácidos con enmiendas calcáreas en la microcuenca del sector Yurajmayo - San Juan de Oro. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/22419>
- Peña, C. Patricia., & Cardona, G. I., (2010). *Dinámica de los suelos amazónicos : procesos de degradación y alternativas para su recuperación*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas, SINCHI: República de Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Perez, Esteban. (2013). Análisis de fertilidad de suelos en el laboratorio de Química del Recinto de Grecia, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica. *Intersedes*, 15(29), 6–18. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S2215-24582013000300001&script=sci_arttext
- Ramírez, R. (1997). *Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos* (Carlos Naranjo O.). Boletín informativo.
- Rodriguez, H. (2014). *Almacenamiento de carbono orgánico en suelos de un sistema agroforestal (café y guaba), en diferentes altitudes del sector Bolsón Cuchara – Tingo María*. [Tesis, UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1077>
- Sardon, N. (2023). *Evaluación de soluciones extractoras de fósforo (P) disponible mediante la aplicación de una fuente fosfatada en diferentes tipos de suelos* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19384>
- Sardón Nina, S., Zapata Hernández, R. D., & Arias López, L. A. (2021). Favorable morphoclimatic factors for the preservation of wetting organic carbon in mountain



soils. *Peruvian Journal of Agronomy*, 5(1), 35.
<https://doi.org/10.21704/pja.v5i1.1680>

Sardón, S., Zapata, R. D., & Arias, L. A. (2021). Comparación del carbono orgánico proveniente de los ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y el grado de humificación en cinco órdenes de suelos. *Peruvian Journal of Agronomy*, 5(1), 25–34.
<https://doi.org/10.21704/pja.v5i1.1676>

Suntaxi, J., & Toscano, J. (2022). *Evaluación del carbono orgánico e identificación de los factores antrópicos que han influenciado en el suelo de páramo en la microcuenca del río La Chimba, parroquia Olmedo, cantón Cayambe* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana].
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23364>

Świtoniak, M., & Charzyński, P. (2022). Soil Sequences Atlas V.
<https://doi.org/https://doi.org/10.12775/978-83-231-4961-3>

Vega, L., Trigos, E., Calvo, D., Lucana, J., Polinar, Y., & Alvarez, L. (2019). Impacto del manejo agronómico y fertilización intensiva en los suelos de Panao. *Revista Investigación Agraria.*, 1(1), 7–17. <https://doi.org/10.47840/ReInA2019>

ANEXOS

Anexo 1. Descripción de perfil de suelos

Tabla 21

Descripción del perfil de suelo de la calicata N°1

Descripción de perfil modal de la CAL - 1		
Características Generales		
Lugar	:	Sección Alto Centro - Sector Pampas de Moho
Distrito	:	San Pedro de Putina Punco
Provincia	:	Sandia
Departamento	:	Puno
Coordenadas Geográficas	:	14°07'17.21" Latitud Sur, 68°58'34.30" Longitud Oeste
Coordenadas UTM	:	UTM Zona 19S, Este: 502569.3, Norte: 8438841.9
Altitud	:	1620 m.s.n.m.
Suelo	:	San Lorenzo primero
Clasificación Natural	:	WRB (2022): Chromic Dystric Cambisol (Loamic, Ochric)
Material Parental	:	Coluvial
Paisaje	:	Montaña
Unidad Geomorfológica	:	Ladera
Pendiente	:	25 - 50%
Vegetación	:	Coca
Pedregosidad superficial	:	Libre
Zona de vida	:	Bosque Húmedo Subtropical
Descrito por	:	Cinthia Estefany Chambi Mamani
Descripción del perfil de suelo		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0 - 13	Franco; pardo fuerte (7.5YR 5/8) en un 40%, pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en un 60%, en húmedo; granular, fina, débil; friable; muy fuertemente ácida (pH 4.7); contenido de materia orgánica de 3.10%; raíces finas, pocas. Límite de horizonte gradual al
AB	13 - 62	Franco; pardo amarillento (10YR 5/8), en húmedo; bloques angulares, media, moderada; friable; muy fuertemente ácida (pH 4.8); contenido de materia orgánica de 1.20%; raíces finas, pocas; gravas angulares en un 2%, guijarros angulares en un 3%. Límite de horizonte gradual al



Bw1	62 - 90	Franco; pardo fuerte (7.5YR 4/6), en húmedo; bloques subangulares, media, moderada; muy friable; muy fuertemente ácida (pH 4.7); contenido de materia orgánica de 0.70%; raíces descompuestas en un 2%; gravas angulares en un 2%, guijarros angulares en un 1%. Límite de horizonte gradual al
Bw2	90- 108	Franco; rojo amarillento (5YR 5/6) en un 90%, pardo muy oscuro (10YR 2/2) en un 10%, en húmedo; bloques subangulares, media, moderada; muy friable; muy fuertemente ácida (pH 4.5); contenido de materia orgánica de 0.50. Límite de horizonte abrupto al
BC	108 - 130	Franco arcilloso; amarillo pardusco (10YR 6/8) en un 80%, pardo rojizo (5YR 5/4) en un 20%, en húmedo; bloques subangulares, media, moderada; muy friable; muy fuertemente ácida (pH 4.5); contenido de materia orgánica de 0.70%.

Figura 25

Paisaje de área de estudio (CAL-1) suelo con intervención antrópica



Figura 26

Perfil de suelo (CAL - 1) suelo con intervención antrópica

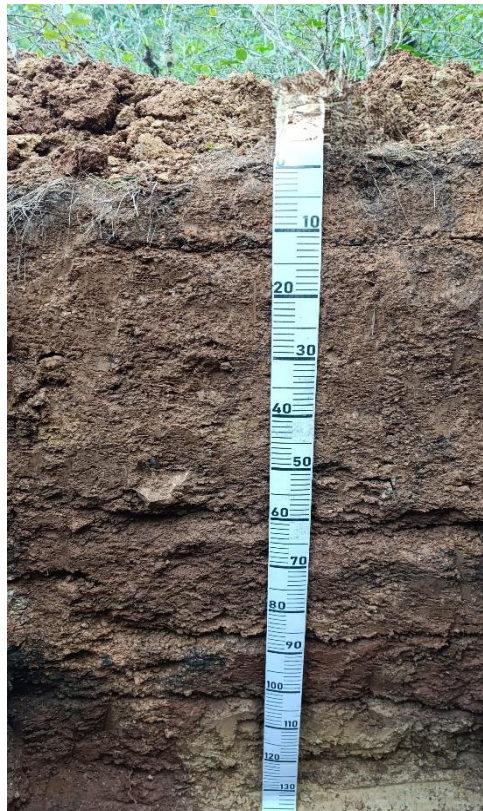


Tabla 22

Descripción del perfil de suelo de la calicata N°2

Descripción de perfil modal de la CAL - 2		
Características Generales		
Lugar	:	Sección Alto Centro, Sector Pampas de Moho
Distrito	:	San Pedro de Putina Punco
Provincia	:	Sandia
Departamento	:	Puno
Coordenadas Geográficas	:	14°07'12.14" Latitud Sur, 68°59'0.47" Longitud Oeste
Coordenadas UTM	:	UTM Zona 19S, Este: 502495.12, Norte: 8438986.25
Altitud	:	1620 m.s.n.m.
Suelo	:	Esperanza Primero
Clasificación Natural	:	WRB (2022): Chromic Dystric Cambisol (Loamic, Geoabruptic, Ochric)
Material Parental	:	Coluvial
Paisaje	:	Montaña
Unidad Geomorfológica	:	Ladera
Pendiente	:	25 - 50%
Vegetación	:	Cedro, Sangre de grado y Bambú.
Pedregosidad superficial	:	Libre
Zona de vida	:	Bosque Húmedo Subtropical
Descrito y elaborado por	:	Cinthia Estefany Chambi Mamani
Descripción del perfil de suelo		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0 – 17	Franco arenoso; pardo muy oscuro (10YR 2/2), en húmedo; granular, fina, débil; muy friable; muy fuertemente ácida (pH 4.5); contenido de materia orgánica de 14.20%; raíces gruesas, pocas, y finas, muchas; gravas angulares en un 3%. Límite de horizonte abrupto al
Bw1	17 – 70	Franco; amarillo pardusco (10YR 6/8) en un 51%, pardo oscuro (7.5YR 3/3) en un 3%, en húmedo; bloques angulares, media, moderada; muy friable; muy fuertemente ácida (pH 4.9); contenido de materia orgánica de 1.20%; raíces gruesas, pocas, y finas, comunes; gravas angulares en un 20%, guijarros angulares en un 35%. Límite de horizonte claro al
Bw2	70 – 130	Franco arcilloso; rojo (2.5YR 4/8) en un 42%, pardo fuerte (7.5YR 5/6) en un 2%, en húmedo; bloques subangulares, media, moderada; friable; muy fuertemente ácida (pH 4.9); contenido de materia orgánica de 0.70%; raíces gruesas, pocas; gravas angulares en un 45%, guijarros angulares en un 20%.

Figura 27

Paisaje de área de estudio (CAL-2) suelo en estado natural



Figura 28

Perfil de suelo (CAL - 2) suelo en estado natural



Tabla 23

Descripción del perfil de suelo calicata N°3

Descripción de perfil modal de la CAL - 3		
Características Generales		
Lugar	:	Sección Alto Centro, Sector Pampas de Moho
Distrito	:	San Pedro de Putina Punco
Provincia	:	Sandia
Departamento	:	Puno
Coordenadas Geográficas	:	14°07'15.92" Latitud Sur, 68°58'37.41" Longitud Oeste
Coordenadas UTM	:	UTM Zona 19S, Este: 503074.12, Norte: 8439157.95
Altitud	:	1340 msnm
Suelo	:	San Lorenzo Segundo
Clasificación Natural	:	WRB (2022): Someric Cambic Umbrisol (Siltic, Abruptic, Dystric, Humic, Pachic)
Material Parental	:	Residual
Paisaje	:	Montaña
Unidad Geomorfológica	:	Ladera
Pendiente	:	15 - 25%
Vegetación	:	Café y Palto.
Pedregosidad superficial	:	Libre
Zona de vida	:	Bosque Húmedo Subtropical
Descrito	:	Cinthia Estefany Chambi Mamani
Descripción del perfil de suelo		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0 – 61	Franco limoso; pardo muy oscuro (7.5YR 2.5/3), en húmedo; granular, media, débil; muy friable; extremadamente ácida (pH 4.4); contenido de materia orgánica de 2.10%; raíces gruesas pocas, medianas comunes y finas comunes. Límite de horizonte Abrupto al
Bw1	61 – 77	Franco Limoso; pardo grisáceo (2.5Y 5/2) en un 90%, pardo grisáceo (10YR 5/2) en un 10%, en húmedo; bloques subangulares, fina, moderada; muy friable; muy fuertemente ácida (pH 4.6); contenido de materia orgánica de 0.70%; raíces medias pocas y finas pocas. Límite de horizonte Abrupto al
Bw2	77 – 115	Arcilloso; amarillo pardusco (10YR 6/8), en húmedo; bloques subangulares, media, moderada; firme; muy fuertemente ácida (pH 4.5); contenido de materia orgánica de 0.50%; raíces gruesas, pocas. Límite de horizonte Abrupto al
Bw3	115 – 170	Franco arcilloso; rojo amarillento (5YR 4/6), en húmedo; bloques angulares, gruesa, moderada; muy firme; muy fuertemente ácida (pH 4.9); contenido de materia orgánica de 0.50%; raíces medias, pocas; grava en un 20%, guijarro en un 10%.

Figura 29

Paisaje de área de estudio (CAL-3) suelo con intervención antrópica



Figura 30

Perfil de suelo (CAL - 3) suelo con intervención antrópica



Tabla 24*Descripción del perfil de suelo de la calicata N°4*

Descripción de perfil modal de la CAL - 4		
Características Generales		
Lugar	: Sección Alto Centro, Sector Pampas de Moho	
Distrito	: San Pedro de Putina Punco	
Provincia	: Sandia	
Departamento	: Puno	
Coordenadas Geográficas	: 14°07'12.27" Latitud Sur, 68°58'39.02" Longitud Oeste	
Coordenadas UTM	: UTM Zona 19S, Este: 503037, Norte: 8439266	
Altitud	: 1340 msnm	
Suelo	: Esperanza Segundo	
Clasificación Natural	: WRB (2022): Protic Dystric Regosol (Loamic; Ochric)	
Material Parental	: Coluvial	
Paisaje	: Montaña	
Unidad Geomorfológica	: Ladera	
Pendiente	: 15 - 25%	
Vegetación	: Bambu, Chiru y Cedro.	
Pedregosidad superficial	: Libre	
Zona de vida	: Bosque húmedo Subtropical	
Descrito	: Cinthia Estefany Chambí Mamani	
Descripción del perfil de suelo		
Horizonte	Profundidad (cm)	Descripción
A	0 – 10	Franco arcilloso; negro (10YR 2/1) en un 60%, pardo muy oscuro (10YR 2/2) en un 40%, en húmedo; granular, fina; muy friable; extremadamente ácida (pH 3.5); contenido de materia orgánica de 12.70%; raíces gruesas pocas, medianas comunes y finas abundantes. Límite de horizonte Abrupto al
C1	10 – 30	Franco; pardo amarillento (10YR 5/4), en húmedo; masivo; muy friable; extremadamente ácida (pH 3.8); contenido de materia orgánica de 2.90%; raíces medianas pocas y finas comunes; gravas angulares en un 70%, guijarros angulares en un 10%. Límite de horizonte Gradual al
C2	30 – 123	Franco arcilloso; pardo fuerte (7.5YR 4/6), en húmedo; masivo; friable; muy fuertemente ácida (pH 4.6); contenido de materia orgánica de 0.90%; raíces medianas pocas y finas comunes; gravas angulares en un 15%, guijarros angulares en un 30%. Límite de horizonte Gradual al



C3	123 – 150	Franco arcilloso; pardo amarillento (10YR 5/8), en húmedo; masivo; firme; muy fuertemente ácida (pH 4.7); contenido de materia orgánica de 0.50%; raíces finas, pocas; gravas angulares en un 25%, guijarros angulares en un 30%. Límite de horizonte Abrupto al
----	-----------	--

Figura 31

Paisaje de área de estudio (CAL-4) suelo en estado natural



Figura 32

Perfil de suelo (CAL - 4) suelo en estado natural



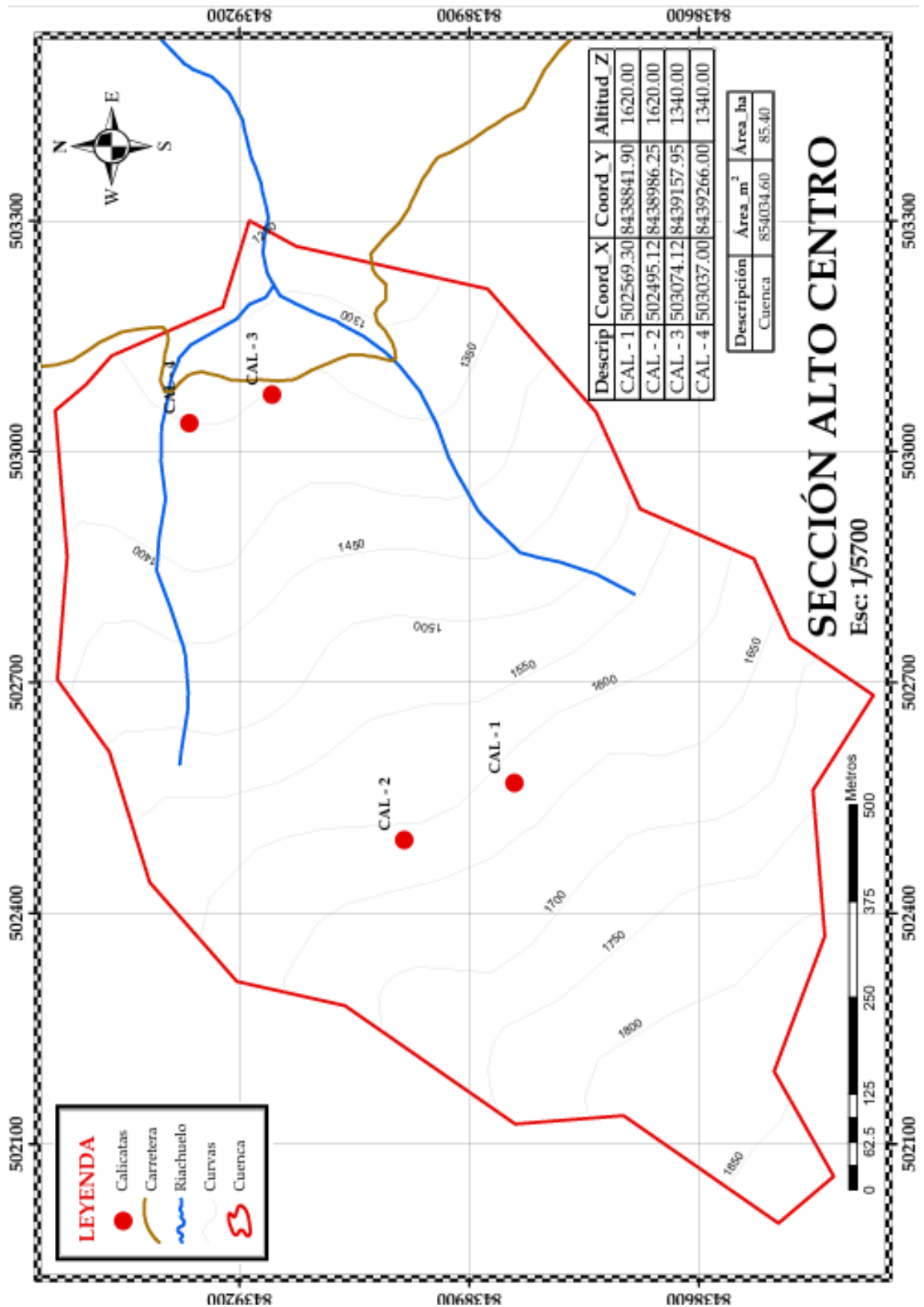
Anexo 2. Clasificación de horizonte / capas de los suelos

Tabla 25

Clasificación de los horizontes del suelo en la Sección Alto Centro

Horizontes	Descripción
A	Horizonte superficial mineral donde se acumula la materia orgánica, lo que le da un color más oscuro, una textura más suelta y alberga la mayor actividad biológica del suelo.
Ap	Horizonte (A) corresponde a la capa superficial con acumulación de materia orgánica y evidencias de perturbación antrópica por laboreo (p).
AB	Horizonte de transición entre A y B, que tiene una parte superior dominada por las propiedades del A y una parte inferior dominada por las propiedades del B.
Bw1	Horizontes que representan capas subsuperficiales alteradas por meteorización, con un grado inicial de desarrollo edafogenético.
Bw2	
Bw3	
BC	Horizonte que constituye una transición entre los horizontes B y C, mostrando características intermedias sin que predomine ninguno de ellos
C1	Capas que representan el material parental poco alterado, donde se observa mínima transformación pedogenética, manteniendo en gran medida las características originales del sustrato
C2	
C3	

Anexo 3. Mapa de ubicación de calicatas



Anexo 4. Panel fotográfico

Figura 33

Materiales de campo para la apertura y lectura de las calicatas.



Figura 34

Apertura de calicatas



Figura 35

Perfil de suelo de San Lorenzo Segundo



Figura 36

Lectura colores de los perfiles con la tabla munsell



Figura 37

Muestra de los horizontes del suelo



Figura 38

Muestras de suelo para la caracterización y densidad aparente



Figura 39

Materiales de laboratorio (A) balanza analítica y (B) estufa.

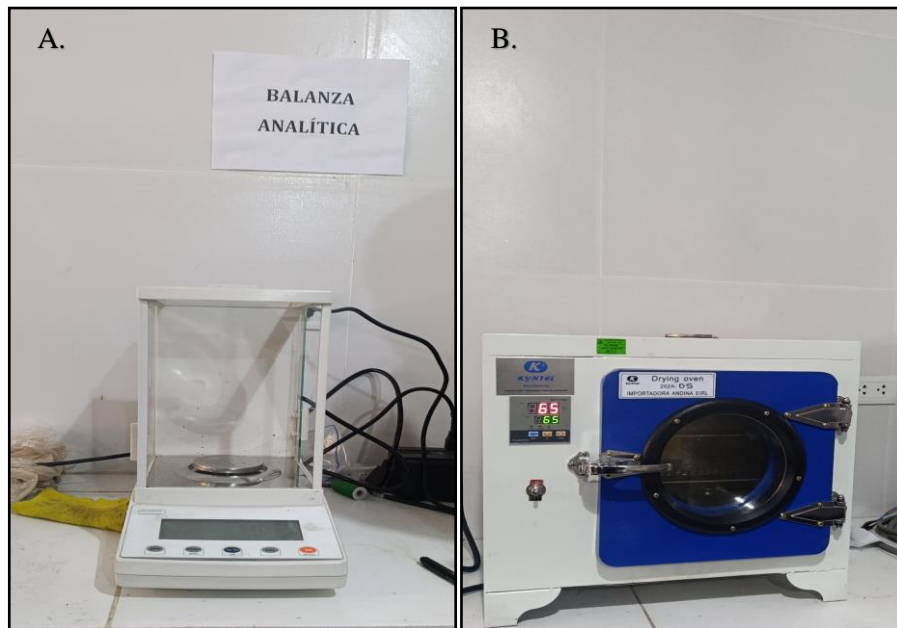


Figura 40

Muestras iniciales para la determinación de densidad aparente.



Figura 41

Proceso de pesado (A) papel y (B) muestra de suelo

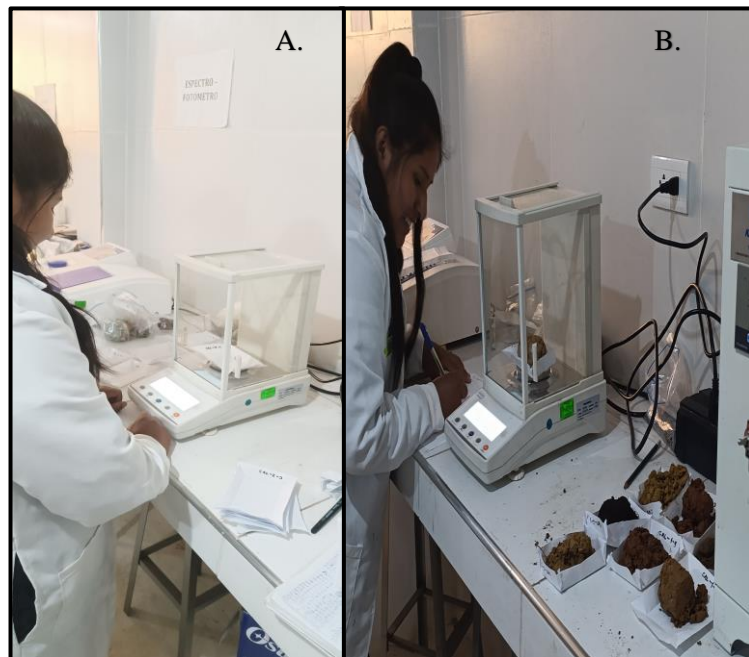


Figura 42

Muestras colocadas en la estufa durante 24 horas



Figura 43

Muestras después del secado en estufa



Figura 44

Muestras secas listas para el análisis





Anexo 5. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo CINTHIA ESTEFANY CHAMBI HAMANI,
identificado con DNI 77702698 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA AGRONÓMICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON INTERVENCIÓN

ANTRÓPICA Y EN ESTADO NATURAL EN EL SECTOR PAMPAS DE MOHO,

DISTRITO DE SAN PEDRO DE POTINA PUNCO"

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 05 de NOVIEMBRE del 2025

FIRMA (obligatoria)



Huella



Anexo 6. Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo CINTHIA ESTEFANY CHAMBI MAMANI,
identificado con DNI 77702698 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA AGRONÓMICA

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

“CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON INTERVENCIÓN ANTRÓPICA Y EN ESTADO NATURAL EN EL SECTOR PAMPAS DE MOHO, DISTRITO DE SAN PEDRO DE PUTINA PUNCO”

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los “Contenidos”) que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 05 de NOVIEMBRE del 2025

FIRMA (obligatoria)



Huella